

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

К. И. ХЕЙСКАНЕН

**ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ
ЯТУЛИЯ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ КАРЕЛИИ**

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р
КАРЕЛЬСКИЙ ФИЛИАЛ
Институт геологии

Труды

Выпуск 28

К. И. ХЕЙСКАНЕН

ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ
ЯТУЛИЯ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ КАРЕЛИИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
Ленинградское отделение
ЛЕНИНГРАД • 1975

Динамическая система осадконакопления ятулия Центральной Карелии. Хейсканен К.И. Изд-во „Наука“, Ленингр. отд., Л., 1975, стр. 1-105.

В настоящей работе ятулийская (средний протерозой) седиментация изучается путем моделирования распределений в разрезах осадочных толщ среднего размера зерен или содержаний нерастворимого остатка методами теории случайных функций. Наиболее подходящая среди рассмотренных типов гармоническая модель после оценки ее параметров используется для сопоставления разрезов, в том числе удаленных и разнофациальных, и картирования последовательности формирования стратиграфических поверхностей раздела. Полученные результаты не противоречат выводам ранее выполненного литологического анализа, в ряде случаев существенно дополняют и уточняют их. Основным фактором, контролировавшим ятулийскую седиментацию являются разномасштабные колебательные тектонические движения блоков основания, находящие отражение в подиномальном виде гармонической модели. Рис. – 26, табл. – 2, библи. – 91 назв.

Редакционная коллегия

В.А. Соколов (председатель), Б.Я. Алексеев,
Г.С. Бискэ, А.И. Богачев, А.С. Пекки,
В.И. Робонен, М.А. Елисеев (секретарь)

Научный редактор В.А. Соколов

X 20805-542
055(02)-75 331-75

© Издательство „Наука“, 1975



ПРЕДИСЛОВИЕ

Проблемы осадочной геологии докембрия приобретают в последнее время все большее практическое и научно-теоретическое значение (Сидоренко, 1963, 1966, 1973), обусловленное как наличием в докембрийских образованиях ряда ценнейших полезных ископаемых, так и возможностью изучения специфики древнейших в истории Земли геологических явлений. В этой связи одним из актуальнейших направлений геологической науки становится разработка методов изучения докембрийских геологических комплексов. Настоящая работа в какой-то мере будет способствовать развитию этого направления. Она посвящена изучению механизма докембрийского осадконакопления путем его математического моделирования. Методической основой исследования послужили сравнительно недавно полученные результаты в теории случайных процессов, идеи и примеры анализа процессов осадконакопления, содержащиеся в работах А.Б. Вистелиуса (1947-1963).

Интерес к ятулийским отложениям определяется их ролью маркирующего горизонта в докембрии Балтийского щита (Гилярова, 1948; Вяюринен, 1959; Кратц, 1963, и др.) и перспективами обнаружения в них различных полезных ископаемых. Кроме того, благодаря сравнительно слабому метаморфизму ятулийских пород, не превосходящему фации зеленых сланцев, здесь имеется возможность наблюдать большинство текстурных особенностей, присущих более молодым осадочным образованиям.

Исследования геологии и литологии ятулия, начатые в Центральной Карелии Институтом геологии Карельского филиала АН СССР в 1961 г., были предприняты для выполнения палеогеографических реконструкций и разработки прогнозов на полезные ископаемые. Специфика докембрия потребовала при этом критического пересмотра обычных литологических методов, усовершенствования их

или создания новых. В этом смысле настоящая работа может рассматриваться как составная часть комплексных исследований ятулия Центральной Карелии, посвященная разработке математических методов изучения.

Основной целью работы является выяснение закономерностей контролирующего распределение на площади и в разрезах главных характеристик осадков, отражающих (Страхов, 1962) степень гидродинамической активности среды отложения – среднего размера частиц терригенных образований и нерастворимого остатка карбонатных пород. Для выполнения этой задачи используется вероятностный подход к процессам осадконакопления (Вистелиус, 1963б), заключающийся в анализе геологических разрезов методами теории случайных процессов. Выявленные при этом в разрезах природные закономерности ложатся в основу математических моделей, применяемых в геологических целях.

В настоящей работе использованы материалы, полученные в 1961–1967 гг. в ходе изучения геологии и литологии ятулийских (среднепротерозойских) образований Центральной Карелии совместно с В.А. Соколовым (руководитель группы), Л.П. Галдобиной, А.В. Рылеевым, Ю.И. Сацуком, А.П. Световым, а также описания и результаты опробования разрезов терригенно-карбонатного ятулия (Соколов, 1963). Разрез нижнего ятулия в районе дер. Костомуксы приводится по данным А.И. Кайряка. Непосредственно с целью математического анализа и моделирования использовано 44 полных разреза ятулийских отложений. Для проверки объективности получаемых выводов привлечены дополнительные материалы: результаты литологического анализа и палеогеографические реконструкции различных эпох ятулия, основанные на изучении более чем 150 разрезов соответствующих образований, около 2500 замеров направлений падения косої слоистости и ряд других данных, более подробно изложенных в монографии В.А. Соколова и др. (1970).

Автор пользуется случаем выразить благодарность М.Д. Белониной, Л.Н. Ботвинкиной, Г.А. Иванову, Ю.П. Казанскому, К.О. Кратцу и М.А. Романовой за ряд полезных замечаний по работе, А.Б. Вистелиусу за консультации и помощь в решении вопросов методического характера и В.А. Соколову, руководившему геолого-литологической частью работы.

Г л а в а I

КРАТКИЙ ГЕОЛОГО-ЛИТОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК ЯТУЛИЙСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ КАРЕЛИИ

Рассматриваемая территория (рис. 1) простирается от озер Онежского и Суоярви на юге до сеп Тикша и Ругозеро на севере. Западная ее граница проходит от оз. Суоярви к оз. Лубоярви и далее на север, северо-восточная – восточнее озер Онежского, Сегозеро, Елмозеро и Ругозеро. По К.О. Кратцу (1958, 1963), В.Н. Нумеровой, К.О. Кратцу (1957) и В.А. Перевозчиковой (1957), на этой территории располагается наиболее крупная из серии синклинорных и антиклинорных зон, выделенных в Карельской геосинклинальной ветви карелид, – Западно-Карельская синклинорная зона. Ее границы, фиксируемые интрузиями нижнепротерозойских гранитоидов и основных пород, а также зонами крупнейших тектонических нарушений, близки к контурам рассматриваемого региона.

Начало систематических исследований геологии Карелии отражено в трудах А.А. Иностранцева, Г.П. Гельмерсена, Н.А. Елисеева. В 30-х годах здесь проводилось региональное геологическое картирование (В.М. Тимофеев, Н.Г. Судовиков, Ю.С. Неуструев, Ю.С. Желубовский, В.Н. Нумерова, Л.Я. Харитонов и др.). В послевоенный период на большей части территории широко развернулись поисково-разведочные работы (Г.Т. Макеенко, С.А. Дюков, М.А. Гилярова, Л.Я. Харитонов, В.А. Перевозчикова, А.А. Миндлина, Г.О. Глебова-Кульбах, С.И. Зак, В.В. Яковлева, Г.А. Поротова, З.Т. Громова, Е.М. Михайлюк, М.Е. Зильбер, А.И. Кайряк и многие другие) и тематические исследования различных организаций (В.З. Негруца, Т.Ф. Негруца, И.Н. Лобанов, В.А. Шкваров, Ю.Б. Богданов и др.), в том числе Института геологии Карельско-

го филиала АН СССР (К.О. Кратц, О.А. Рийконен, Н.Ф. Демидов, В.И. Робонен, М.М. Стенарь, В.М. Чернов). Эта геологическая стадия работ была в основном завершена в 50-х годах. Были составлены геологические карты, оценены перспективы на некоторые полезные ископаемые, выявлены спорные вопросы стратиграфии, т.е. подготовлена база для дальнейшего более детального изучения докембрийских комплексов, в том числе ятулийских образований.

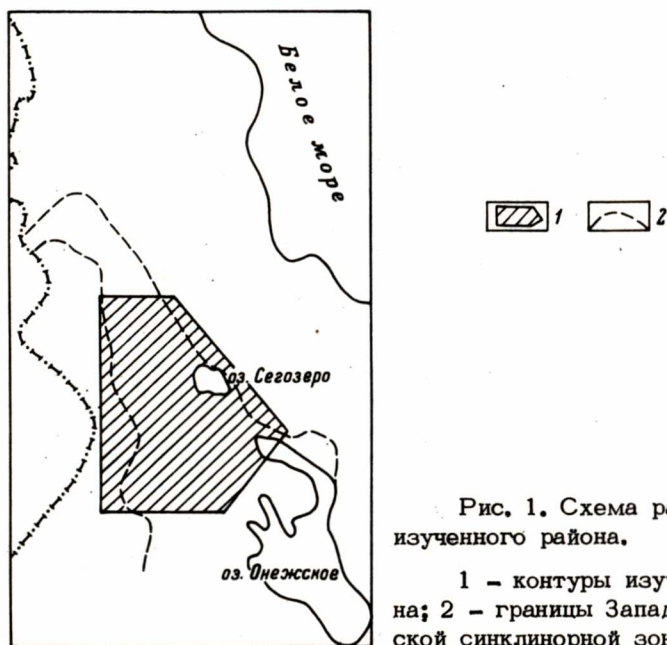


Рис. 1. Схема расположения изученного района.

1 - контуры изученного района; 2 - границы Западно-Карельской синклиниальной зоны.

Новым этапом в изучении ятулийских отложений явились комплексные исследования с широким применением детальных литологических, палеовулканологических, палеофитологических и других методов. Изучение ятулийских отложений было начато В.А. Соколовым (1955, 1956 и т.д.) в Южной Карелии и Прионежье, а затем продолжено под его руководством в 1961 г. на территории Центральной Карелии (Л.П. Галдобина, А.В. Рылеев, Ю.И. Сацук, А.П. Светов, К.И. Хейсканен). Литологические исследования в этот период проводили также И.Н. Лобанов, В.З. Негруца и Т.Ф. Негруца.

Разные исследователи неодинаково подходили к интерпретации фактических материалов, что привело к появлению различных стратиграфических схем, в которых положение, объем и внутреннее рас-

Таблица 1

Этапы тектонического развития докембрия Карелии

Группа, подгруппа	Отдел	Абсолютный возраст, млн лет	Тектонический режим	
Верхнепротерозойская	Гиперборей	1650	Платформенный	
Среднепротерозойская	Вепсий			
	Суйсарий			
	Ятулий			
Нижнепротерозойская	Сариопий	1800	Орогенный	Поздний (до-платформенной активизации)
				Ранний (пликативный)
	Сумий		Геосинклинальный	
	Лопий			
Архейская		2600	Геосинклинальный (?)	

членение ятулийских образований решались по-разному. В последние годы наибольшим распространением пользуются стратиграфические схемы Института геологии Карельского филиала АН СССР (Кратц, 1958; Кратц и др., 1971) и Л. Я. Харитонова (1949, 1963). Эти схемы неоднократно обсуждались в литературе (Кратц, 1963; Харитонов, 1963; Соколов, 1966; Соколов и др., 1970). В табл. 1 приводится схема К. О. Кратца и др. (1971), несколько измененная в соответствии с новейшими данными (Проблемы геологии среднего протерозоя Карелии, 1972; Соколов, Галдобина, Хейсканен, 1973).

Строение доятулийского фундамента и краткая история его развития

В строении доятулийского фундамента на рассматриваемой территории участвуют архейские, лопийские, сумийские и сариопийские образования.

Древнейшие сильно переработанные и сложноскладчатые архейские породы, как известно, широко развиты на побережье Белого моря. В пределах Центральной Карелии их существование предполагается в ряде глыб и блоков антиклинальных подзон карелид (фундамент карелид), где они формируют различные гранито-гнейсовые комплексы (Кратц, 1963). Геосинклинальные отложения лопия (Кратц, 1958, 1963) представлены различными сериями (Чернов и др., 1970). Вулканогенные и вулканогенно-осадочные образования, развитые в северо-восточной части региона, известны под названием парандовской серии. Здесь широко распространены толщи основных, а выше по разрезу и кислых вулканитов, содержащие горизонты терригенно-хемогенных пород и колчеданные руды. Юго-западная часть региона является областью распространения пород гимольской серии, в значительной мере представленными основными и кислыми вулканитами, туфобрекчиями, туфами, разнообразными сланцами и железистыми кварцитами. Преимущественно вулканогенные и осадочно-вулканогенные отложения лопия, развитые за пределами Центральной Карелии, известны под названиями ириногорской (тикшезерской), пебозерской, японваарской и сортавальской серий. Детальный анализ разрезов лопийских образований с учетом данных о глубинном строении земной коры (Шустова, 1966; Геология и глубинное строение восточной части Балтийского щита, 1968) позволяет выявить некоторые особенности лопийского седиментогенеза в Карелии (Соколов, Галдобина, Хейсканен, 1973).

Геосинклинальный этап, в течение которого были сформированы мощные вулканогенно-осадочные толщи, относимые к лопию, характеризуется длительным существованием режима прогибания на большей части территории, ограниченной с северо-востока архейской платформой Беломорского блока (рис. 2), а с юго-запада — районом современного Припadoжья. В пределах этой Карельской геосинклинали с большой интенсивностью проявлялся базальт-андезит-дацит-липаритовый и базальтовый вулканизм. Различные масштабы его проявления в значительной мере определили характер осадконакопления, что позволяет расчленить геосинклинальный пояс на ряд зон. В частности, прилегающая к Беломорскому блоку сравнительно узкая зона характеризуется существенно терригенным псаммито-пелитовым и мергелистым составом осадков в толщах большой мощности пебозерской и тикшезерской серий. В распо-

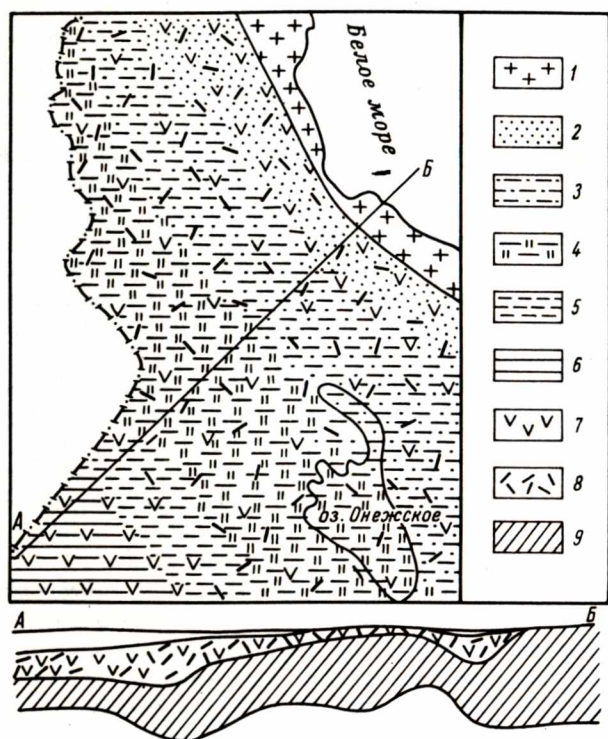


Рис. 2. Палеофациальная схема Карельской геосинклинали (нижний протерозой, лопий).

1 - геосинклинальные отложения отсутствуют (?);
 2 - зона терригенных осадков больших мощностей; 3 - зона малых мощностей; 4 - зона средних мощностей и железорудного осадконакопления; 5 - зона больших мощностей и существенно кремнистых осадков; 6 - зона карбонатакопления и базальтового вулканизма; 7 - продукты основного вулканизма; 8 - продукты кислого вулканизма; 9 - гранито-гнейсовый слой земной коры (мощности сглажены), по данным глубинного сейсмического зондирования.

женной юго-западнее более широкой зоне отмечается сравнительно малая мощность лопийских образований (парандовская, бергаульская и другие серии), содержащих терригенно-хемогенные осадочные породы с колчеданными рудопоявлениями. Далее к юго-западу располагается зона умеренных мощностей лопийских отложений (гимольская серия и ее аналоги), в которых наряду с разнообразными вулканитами большую роль играют железистые кварциты. Еще далее к юго-западу выделяется вновь зона больших мощностей лопийских толщ (хаутаваарская и японваарская серии), характерными элементами которых становятся кремнистые и углеродистые компоненты. Район Приладожья, где соответствующие отложения сортавальской серии представлены мощными толщами базальтовых вулканитов и существенно карбонатными осадками, интерпретируется как область океанического типа.

Таким образом, главнейшими элементами тектонического строения территории в лопийское время являются архейская платформа, геосинклинальный пояс и океаническая область. Центральные зоны геосинклинального пояса могут интерпретироваться как вулканическая островная дуга, отделенная от платформы внутренним бассейном. Распределение „гранитного слоя“ в указанных элементах (рис. 2) вполне подтверждает данную интерпретацию.

Тектоническими движениями ребольской фазы тектогенеза (Кратц, 1958) Карельская геосинклиналь была преобразована в ороген (начало орогенного этапа), за счет разрушения которого в неинвертированной океанической области и, по-видимому, в локальных внутренних прогибах накапливались флишевые и флишеподобные толщи ладожской серии. Бассейн флишевой седиментации захватывал Юго-Западную Карелию. В Центральной Карелии соответствующие отложения неизвестны. Последующая складчатость селецкой фазы привела к консолидации флишевых толщ и повторной тектонической переработке области орогена.

После некоторого выравнивания территории, следы которого устанавливаются местами по элювиальным брекчиям, происходит тектоническая активизация консолидированного основания. На месте Карельской геосинклинали закладываются крупные сводовые поднятия (рис. 3), расчлененные системой глубинных разломов на горсты и грабены. Во внутренних депрессиях и близ склонов в областях горстовых поднятий формируются полимиктовые грубообломочные отложения (селецкий тип разреза), переходящие ниже по склонам и у подножий в мощные толщи переспаивания лавовых, грубообломочных пирокластических, пирокласто-осадочных и терригенных пород (кумсинский тип разреза). За пределами сводовых поднятий, в межсводовых прогибах, накапливаются толщи лавовых и тонкообломочных образований (гайкольский тип разреза). Всюду преобладает андезито-базальтовый вулканизм и лишь на границах погру-

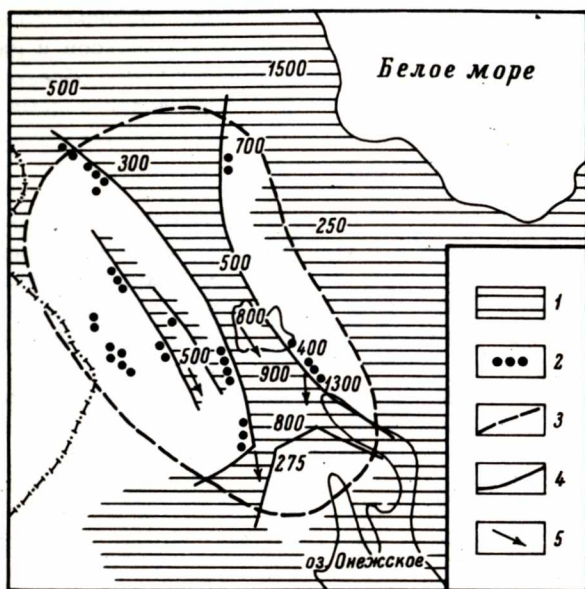


Рис. 3. Фациально-тектоническая схема периода формирования сумийско-сарийского вулканогенно-осадочного комплекса.

1 - области распространения лавовых излияний андезито-базальтов; 2 - современные участки развития обломочных образований селецкого типа разреза; 3 - контуры Центрально-Карельского сводового поднятия; 4 - склоны горстовых поднятий, установленные по глубинным разломам и совпадающим с ними границам областей развития селецкого и кумсинского типов разреза; 5 - направления переноса обломочного материала.

жающихся блоков основания наряду с ним встречаются продукты корового вулканизма дацит-липаритового состава. Указанные типы разреза характеризуют латеральные изменения состава мощного (до 2500 м) сумийско-сарийского вулканогенно-осадочного комп-

плекса – вулканогенной молассы, завершающей орогенный этап развития региона.¹

Платформенный этап начался с эпохи длительного выравнивания и выветривания всех более древних комплексов и накопления ятулийских осадочных и осадочно–вулканогенных образований. Приведенный краткий обзор предыстории ятулийской седиментации позволит в дальнейшем проследить унаследованность геологического развития области в разные периоды.

Ятулийские отложения, рассматриваемые в качестве субплатформенного чехла Западно–Карельской синклинозойной зоны, занимают около 30% ее площади в современном эрозионном срезе. Они образуют ряд изолированных или сообщающихся синклинальных структур, в целом простирающихся в северо–западном направлении (рис. 4). Наиболее крупная область развития ятулийских пород располагается в районе Онежского озера, далее на северо–запад они прослеживаются в окрестностях озер Сегозеро, Елмозеро, Евдозеро, Ругозеро. В юго–западной части области ятулийские толщи прослеживаются с перерывами от оз. Суоярви к пос. Костомукса до озер Чинозеро, Янгозеро, откуда их непрерывная полоса простирается к озерам Селецкому, Маслозеро, Уносозеро. На западе ятулийские отложения известны близ озер Лубоярви, Мотко, Волпомское и Пеннинга.

Во всех районах развития отложений ятулийского отдела последний в большинстве случаев достаточно четко разделяется на три подотдела: нижний, средний и верхний (Соколов и др., 1970). Основанием для такого деления служат геолого–литологические особенности пород: вещественный состав и парагенетические ассоциации разнофациальных комплексов, регионально выраженные перерывы в осадконакоплении, этапы вулканических излияний и другие данные. Сравнительная однородность территории в геотектоническом отношении, наличие кристаллического основания, достигшего консолидации в доятулийское время, значительно способствовали расчленению и корреляции ятулийских разрезов на рассматриваемой территории.

¹ Первоначально считалось, что сариопийские грубообломочные образования являются базальными для среднего протерозоя (Кратц, 1958; Кратц, Шуркин и др., 1971). Затем было установлено (Проблемы геологии среднего протерозоя Карелии, 1972), что эти образования несогласно перекрываются ятулийскими и в то же время обнаруживают фациальные переходы в нижележащие толщи эффузивных диабазов, относившиеся к сумийскому отделу. Учитывая все это, новый вулканогенно–осадочный комплекс, отнесенный к нижнему протерозою, назван сумийско–сариопийским.

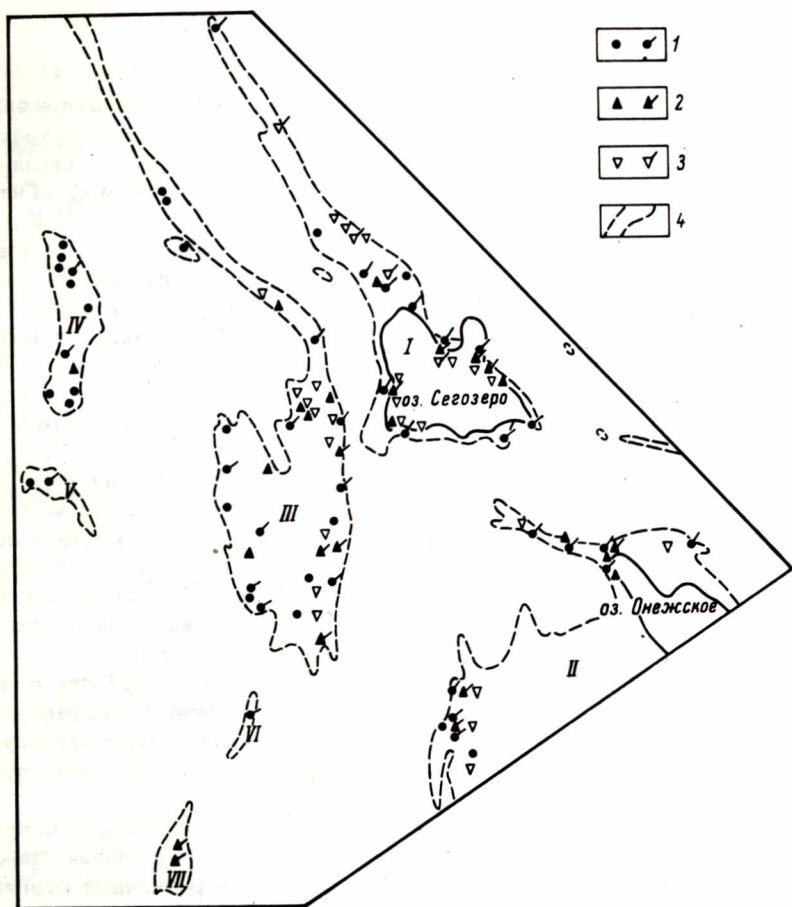


Рис. 4. Схема распространения ятулийских образований и расположение изученных разрезов.

1 - разрезы осадков нижнего ятулия; 2 - разрезы среднего ятулия; 3 - разрезы верхнего ятулия (штрихом помечены разрезы, подвергавшиеся специальной обработке по излагаемой методике); 4 - контуры ятулийских структур; ятулийские синклинали: I - Сегозерско-Елмозерская, II - Прионежская, III - Янгозерско-Сеїцкая, IV - Мотко-Волмозерская, V - Лубосалмская; VI - Костомукшская, VII - Суоярвская.

Базальные образования ятулия

На контакте доятулийского основания с отложениями ятулия начиная с А. Метцгера (Metzger, 1924) неоднократно отмечались характерные образования, называемые „базальными спанцами“, базальными образованиями, корой выветривания (Гипярова, 1949; Кратц, 1963; Соколов, 1955, 1963; Харитонов, 1949, 1963, и др.). При детальном изучении этих образований (Соколов, Хейсканен, 1966; Соколов и др., 1970) было установлено, что они действительно являются элементами коры выветривания сиаплитного типа (Полынов, 1934) и ее производных аккумуляций и пользуются широким площадным распространением в ряде районов. Для дальнейшего изложения особое значение имеет тот факт, что кора выветривания указанного типа образуется в условиях достаточно выравненного рельефа.

На некоторых участках рассматриваемой территории кора выветривания (химического) практически отсутствует, и тогда сочленение пород фундамента и ятулийских отложений происходит в соответствии с тремя типами взаимоотношений:

1) на неровной размытой поверхности не измененных выветриванием доятулийских образований с резким и четким контактом залегают кварцевые конгломераты или гравелиты ятулия;

2) породы основания по мере приближения к контакту с ятутием приобретают прогрессирующую трещиноватость и постепенно переходят в брекцию (обызвесткованный элювий), цементирующуюся мелко раздробленным материалом исходных пород и нередко карбонатным материалом;

3) между породами основания и собственно ятулийскими отложениями располагаются довольно мощные пачки, сложенные брекцией подстилающих пород, фрагменты которой в различной степени несут следы древнего химического выветривания.

Такие взаимоотношения, как правило, наблюдаются на тех участках, где детальным картированием выявляются различные формы предьятулийского погребенного рельефа (Соколов и др., 1966, 1970), амплитуда относительных отметок которого достигала 40–50 м на сравнительно коротких отрезках профилей (рис. 5). Таким образом, картирование (рис. 6) различных типов базальных образований ятулия позволяет сделать вывод о степени неровности поверхности предьятулийского рельефа. Более детальное изложение затронутых вопросов можно найти в цитированных выше работах.

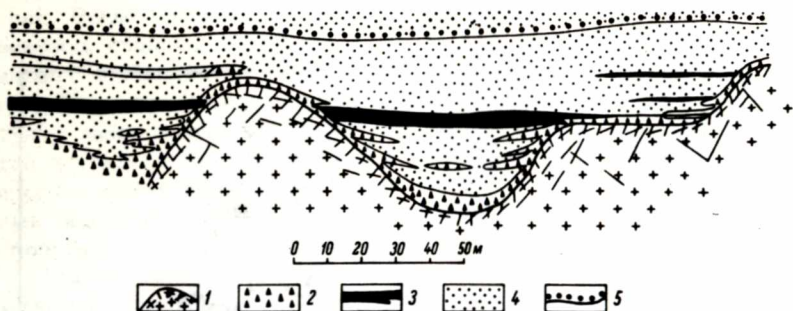
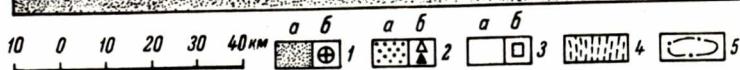
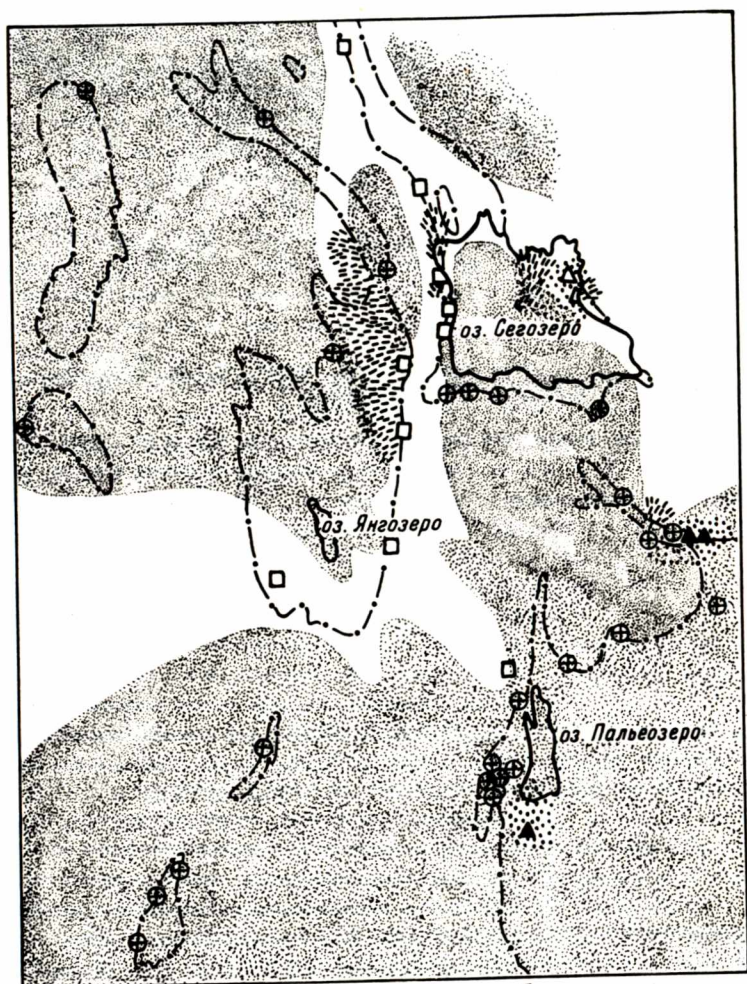


Рис. 5. Геологический профиль через базальные образования ятулия на о-ве Лехта-1 (оз. Сегозеро).

1 - поверхность гнейсо-гранитов основания; 2 - брекчия гнейсо-гранитов; 3 - линзы карбонатных пород; 4 - песчаники; 5 - кварцевые конгломераты и гравелиты.

Нижний ятулий

Отложения нижнего ятулия встречаются почти всюду в местах развития ятулийских образований и нередко составляют большую часть разреза ятулия. Залегая несогласно и с крупным перерывом на размытой поверхности пород доятулийского основания, нижнеятулийские отложения участвуют во всех тектонических структурах ятулия, подстилая образования среднеятулийского возраста. В основании нижнего ятулия известны коры выветривания пород кристаллического фундамента и элювиально-делювиальные брекчии. В ряде пунктов нижнеятулийские кварцевые конгломераты и гравелиты пежат на не измененной выветриванием размытой поверхности нижнепротерозойских сланцев и гнейсов. Перечисленные образования на всей изученной территории перекрываются кварцевыми конгломератами и гравелитами, имеющими разное происхождение, весьма различные мощности и пестрый набор акцессорных минералов. Кварцевые конгломераты, а нередко большой мощности грубообломочные аркозы, переспаивающиеся с песчаниками и в меньшей степени со сланцами, выделяются в качестве первой (базальной) пачки нижней вулканогенно-осадочной толщи (нижний ятулий). Отложения, входящие в состав второй пачки, характеризуются моно-



минеральным составом и присутствием чистых разностей кварцитов, которые в некоторых местах могут представлять практический интерес. Выше обычно залегают переслаивающиеся в различных соотношениях сланцы, песчаники и гравелиты третьей пачки, отличительной особенностью которой является присутствие карбоната в цементе пород. Завершающие разрез осадочной подтолщи нижнего ятулия полевошпато-кварцевые песчаники и гравелиты входят в состав четвертой пачки. Деление осадочной подтолщи на четыре пачки сохраняется на большей части территории. Границы между пачками проводятся по сумме литологических признаков пород. Выше в большинстве случаев залегают эффузивные диабазы.

Набор пород нижнего ятулия, их литологические особенности, мощность и прочие характеристики не остаются постоянными в разных местах Центральной Карелии, а испытывают весьма большие изменения и колебания, в связи с чем их удобнее рассматривать по типам разрезов, выделенным по составу терригенных пород и их литологическим особенностям (Соколов и др., 1970): медвежьегорско-пяозерский, святнаволопско-остречинский, сегозерско-селецкий с подтипами маймъярвинским и энингиламбинским и циркомским.

Отложения медвежьегорско-пяозерского типа разреза нижнего ятулия прослеживаются в краевых частях северного обрамления Онежской мульды. Они описаны в обнажениях и по скважинам в районе озер Пяозеро, Сундозеро, дер. Койкары и пос. Гирвас, у дер. Пергуба, в окрестностях г. Медвежьегорска, севернее г. Повенец и у пос. Падун (Соколов и др., 1970). В районе оз. Пяозеро-дер. Койкары и севернее г. Повенец нижнеятулийские породы залегают на коре выветривания, слабо развитой как на гнейсо-гранитах, так и на сланцах и зеленосланцевых породах, а также на полимиктовых конгломератах (оз. Мусталамби, пос. Падун). В районе г. Медвежьегорска отложения нижнего ятулия подстипаются элювиально-делювиальными образованиями, преимущественно брекчиями, заполняющими поверхность склонов и впадины предятулийской по-

Рис. 6. Палеофациальная схема формирования базальных образований ятулия.

1 - предполагаемые области развития коры выветривания пород доятулийского основания (а) и ее обнажения (б); 2 - предполагаемые области развития элювиально-делювиальных образований (а), обнажения обызвесткованного элювия (б) и элювиально-делювиальных брекчий (в); 3 - области эрозии поверхности доятулийского основания (а) и соответствующие обнажения (б); 4 - отложения конусов выноса; 5 - контуры ятулийских структур.

верхности фундамента (Соколов и др., 1966), сложенной здесь гнейсо-гранитами. В целом разрез осадочной подтолщи нижнего ятулия медвежьего-пяозерского типа характеризуется невыдержанным и преимущественно грубообломочным составом пород и малыми мощностями (0–20 м).

В береговых обнажениях оз. Суккозеро, на мысе Бригуннаволок разрез ятулийских отложений (Тимофеев, 1935; Гилярова, 1948; Соколов, 1958, и др.) начинается элювиальными глыбами гнейсо-гранитов в разнозернистом грубом цементе, залегающими на неровной поверхности подстилающих гнейсо-гранитов. Мощность конгломерато-брекчии во впадинах предьятулийской поверхности достигает 1,0–1,5 м. Отдельные линейновытянутые понижения этой поверхности („потки“) заполнены крупной кварцевой брекчией. Выше, после темно-серых тонкозернистых песчаников, определяемых М.А. Гиляровой (1948) как туфопесчаники, слоистость которых облекает выдающиеся снизу глыбы гнейсо-гранита, следуют черные или коричневые сланцы, перекрываемые эффузивными диабазами. Мощность нижнеятулийских осадков не превышает здесь 11–12 м.

В районе р. Суны близ пос. Гирвас осадки нижнего ятулия изменяются в сторону мономинерального кварцевого состава. Здесь разрез осадочной части нижнего ятулия характеризуется преобладанием кварцевых конгломератов и гравелитов плохой окатанности с прослоями грубозернистых кварцито-песчаников. Мощность этих отложений достигает 35 м. Выше залегает покров эффузивных диабазов мощностью 75 м.

В районе дре. Койкары-оз. Реболамби сохраняется грубообломочный состав и плохая окатанность фрагментов нижнеятулийских образований. Мощность осадочной подтолщи у дер. Койкары составляет 15 м, у оз. Реболамби она увеличивается до 20 м. Местами здесь в основании подтолщи среди крупногалечных кварцевых конгломератов встречаются обломки подстилающих их нижнепротерозойских сланцев и диабазов. У оз. Мусталамби, где ятулийские породы мощностью около 20–25 м лежат на поверхности затронутых выветриванием полимиктовых конгломератов, в составе нижнеятулийских отложений происходят существенные изменения. Здесь в средней части разреза обособляются кварцито-песчаники, а в основании появляются маломощные аркозовые гравелиты. В районе дер. Койкары-оз. Мусталамби мощность залегающих выше эффузивных диабазов не превышает 40–45 м.

Севернее области развития медвежьего-пяозерского типа разреза мощность нижнеятулийских отложений увеличивается, более четко дифференцируются составы переслаивающихся пород, т.е. совершается переход к святнаволоцко-остречинскому типу разреза нижнего ятулия.

В районе г. Повенца осадочная подтолща нижнего ятулия медвежьегорско-пяозерского типа разреза также характеризуется малой мощностью и присутствием плохо окатанных кварцевых конгломератов. Осадочная подтолща прослеживается в ряде пунктов близ Беломорско-Балтийского канала по искусственным обнажениям и скважинам, причем мощность ее колеблется от нескольких метров до 60 м, а местами осадочные породы целиком выклиниваются, и тогда перекрывающие их эффузивные диабазы ложатся непосредственно на неровную поверхность доятулийского основания, сложенного гнейсо-гранитами.

В районе дер. Лумбуши-г. Медвежьегорск нижнеятулийские отложения имеют крайне неоднородный состав и мощность, меняющуюся от 0 до 70 м. Установлено, что здесь под нижнеятулийскими породами погребен предьятулийский денудационный рельеф основания (Соколов и др., 1966) с превышением возвышенностей над дном котловин в 20-70 м. Нижнеятулийские осадки залегают здесь в понижениях рельефа основания и отсутствуют на многих его возвышенностях. В основании нижнего ятулия установлено наличие элювиальной брекчии, свалы гранитных глыб по крутым склонам мелких возвышенностей, линзы кварцевых конгломератов и т.д. Само гранитное основание обычно помимо рельефа, представленного крупными формами, имеет сильно неровную поверхность, часто пересеченную трещинами („микрорельеф“). В вертикальном разрезе при приближении к поверхности доятулийского фундамента местами можно наблюдать все стадии отделения и закругления элювиальных глыб и обломков, которые в конечном итоге оказываются погруженными в переработанный процессами выветривания гранитный материал.

Нижнеятулийские осадки, развитые в отдельных, по-видимому, нередко изолированных мелких депрессиях предьятулийского рельефа, резко различаются по составу. В одних участках они представлены преимущественно мелко- и среднезернистыми, чаще горизонтальнослоистыми песчаниками (дер. Лумбуши), в других - грубообломочными кварцевыми гравелитовыми и конгломератовыми породами с широким развитием косослонистых текстур (оз. Плотичье), в-третьих - наблюдается появление грубообломочных аркозов (восточнее г. Медвежьегорска), заполняющих наиболее глубокие части впадин. Осадочные породы нижнего ятулия перекрываются эффузивными диабазами, которые на возвышениях, разделяющих впадины рельефа фундамента, часто ложатся непосредственно на поверхность гнейсо-гранитного основания. Эффект выклинивания отложений на таких возвышениях настолько велик, что в некоторых случаях нижние потоки эффузивного пласта, состоящего в этом районе из 1-4 потоков при мощности 10-55 м, не перекрывают их, выклиниваясь на склонах. Здесь, как и в районе дер. Койкары, в северном и северо-западном направлениях медвежьегорско-пяозерский тип раз-

реза нижнего ятулия сменяется святнаволоцко-остречьинским типом.

Для отложений святнаволоцко-остречьинского типа разреза, развитых в пределах северного побережья оз. Пальеозерс, районе дер. Падун, Остречье и оз. Фенькиналамби, по-прежнему характерны колебания мощностей (20–170 м) и намечающееся по комплексу литологических особенностей деление разреза на пачки, синхронные выделенным на остальной территории Центральной Карелии. В основании ятулия здесь нередко залегают образования коры выветривания, встреченной на гранитах у дер. Остречье и полимиктовых конгломератах у пос. Падун. Эти образования перекрываются кварцевыми гранитными, гранитно-кварцевыми конгломератами, отложениями продуктов выветривания гнейсо-гранитных пород в виде песчано-алевролитовых пород, которые выше сменяются разнозернистыми грубыми песчаниками и аркозовыми гравелитами, составляющими первую пачку осадочной подтолщи нижнего ятулия. Мощность ее составляет менее 20 м у пос. Падун, 30 м у дер. Остречье и до 110 м возле дер. Плакковаара. В районе дер. Святнаволоц вскрытая часть разреза сложена конгломерато-гравелитовыми породами первой пачки мощностью около 30 м. Выше располагается пачка хорошо сортированных преимущественно косослоистых кварцевых гравелитов, песчаников, кварцито-песчаников. Породы этой пачки развиты повсеместно, хотя их мощность подвержена также сильным колебаниям: не более 50 м в районе оз. Фенькиналамби; 50 м – у дер. Плакковаара; 22 м – у пос. Падун. Эта пачка, по-видимому, синхронна второй (кварцитовой) пачке осадочной подтолщи нижнего ятулия в общей схеме расчленения нижнеятулийских отложений. Еще выше залегают песчаники с прослоями конгломератов, гравелитов, алевролитов и сланцев общей мощностью 10–20 м, которые соответствуют третьей и четвертой пачкам в сводном разрезе ятулия Центральной Карелии. Осадочные породы нижнего ятулия везде перекрываются эффузивными диабазами.

Сегозерско-селецкий тип разреза нижнего ятулия является стратотипическим в Карелии. Отложения, соответствующие этому типу разреза, прослеживаются по побережью озер Сегозеро и Елмозеро, восточному и северному берегам оз. Селецкого, откуда непрерывно простираются через оз. Маслозеро к оз. Чиас и через дер. Нестерова Гора к оз. Уносозеро. Близкими к данному типу являются нижнеятулийские породы, развитые в районах оз. Суоярви и дер. Костамукса. Весьма сходны с сегозерско-селецким типом нижнеятулийские отложения Янгозерской, Мотко-Воломской и Лубосалминской структур. Только различия в строении нижней пачки приводят к необходимости выделения в этих районах дополнительно двух подтипов: маймярвинского и энингиламинского.

В области распространения отложений данного типа располагаются классические разрезы разнообразных базальных образований. Это коры выветривания на гранитах, отмеченные в районе оз. Суоярви еще А. Метцгером и в районе д. Костомуксы — А.И. Кайряком, и обнажения на южном побережье оз. Сегозеро, впервые описанные Л.Я. Харитоновым (1938). Известен разрез коры выветривания на подмиктовых конгломератах (Рийконен, 1960), развитых в районе дер. Карельская Масельга. В районе Каличьих островов и Глухой губы оз. Сегозеро широко развиты элювиально-делювиальные и пролювиальные отложения, залегающие на склонах и в депрессиях предъятулийской поверхности, отличающейся здесь значительной пересеченностью. Здесь же часто встречается обызвесткованный элювий и линзы доломита, залегающие непосредственно на поверхности гнейсо-гранитного основания (рис. 5). М.М. Зипбером и З.Т. Громоной в местечке Бергаул наблюдались коры выветривания на биотит-хлоритовых и хлорит-амфиболовых сланцах нижнего протерозоя.

В пределах Сегозерско-Елмозерской структуры в основании нижнего ятулия прослеживаются отложения первой пачки, отличающейся непостоянством мощности (от 50 м на северо-восточном берегу оз. Сегозеро до 530–600 м в районе дер. Шалговаары) и значительным изменением состава пород по горизонтали. В вертикальном разрезе здесь выделены три подпачки. Отложения нижней части пачки на восточном берегу оз. Сегозеро состоят из ритмично переслаивающихся кварцевых гравелитов, косослоистых и горизонтальнослоистых песчаников и красно-бурых и зеленовато-серых алевролитов и сланцев в кровле ритмов, на поверхностях напластования которых иногда наблюдаются трещины усыхания. В районе оз. Елмозеро при сохраняющемся ритмичном строении соответствующих пород значительно увеличивается их мощность. В подошве ритмов исчезают гравелиты, а в кровле нет алевролитов и сланцев. Косая слоистость редка. Средняя часть пачки сложена кварцевыми преимущественно среднезернистыми песчаниками со слюдистым и карбонатным цементом. В районе оз. Сегозеро в песчаниках содержится полевой шпат. Здесь же наблюдаются крупные клиновидно-срезающие косослоистые серии с пологими слоями, тогда как в районе оз. Елмозеро преобладают горизонтальные осадки. Верхняя часть пачки, известная только в районе оз. Елмозеро и севернее его, представлена мелко- и среднезернистыми песчаниками, имеющими горизонтальную слоистость, изредка перемежаемую косослоистыми сериями.

Вторая (кварцитовая) пачка отчетливо прослеживается в данном районе. Ее мощность изменяется от 85–130 м в районе оз. Сегозеро до 160 м в районе оз. Елмозеро. Ритмичное строение пачки обуславливается чередованием (через 1.5–5 м, вверх до 10–12 м)

крупно- и среднезернистых белых и зеленоватых кварцитов с регенерационным цементом. Нередки косослоистые серии (мощность 1–2.5 м) с прямыми параллельными слоями. В верхних частях ритмов в породах появляется серицитовый поровый цемент, а кровля их иногда представлена маломощными прослоями серицитовых сланцев, обломки которых часто встречаются в основании следующего ритма. На плоскостях напластования пород встречаются знаки ряби и трещины усыхания. В северном направлении породы сменяются в целом более мелкозернистыми разностями, более широкое развитие приобретает горизонтальная слоистость. Отложения третьей пачки, имеющей мощность 60–80 м в районе оз. Сегозеро, 130 м на Капичьих островах и 36 м в горах Хартуваара, представлены гравелитами, различной зернистости песчаниками с карбонатом в цементе, красноцветными сланцами. Нижняя часть пачки характеризуется ритмичным строением. В подошве ритмов мощностью 0.7–3.7 м располагаются крупно- и среднезернистые песчаники со срезающей и косоволнистой слоистостью в мелких сериях, а кровля сложена мелкозернистыми песчаниками или красноцветными сланцами с трещинами усыхания. По патерали и в разрезе ритмы нередко сменяются ритмичным переслаиванием гравелитов или крупнозернистых песчаников с мелкой параллельной косой слоистостью и мелкозернистых неслоистых песчаников. В средней части пачки преобладают ритмы со сланцами в кровле. Нередко и ритмичное переслаивание косослоистых песчаников с неслоистыми. Верхи пачки сложены гравелитами, крупно- и среднезернистыми песчаниками с карбонатным цементом. В районе западного берега оз. Сегозеро эта часть разреза отсутствует. В песчаниках наблюдается косая слоистость в мелких параллельных сериях и неясная мультислойная слоистость (район оз. Елмозеро).

Четвертая пачка имеет мощность 10–12 м на восточном берегу оз. Сегозеро, 40 м в районе Капичьих островов и до 50 м в районе гор Хартуваара. Она сложена разномасштабными полевомикрокварцевыми песчаниками, зернистость которых увеличивается к кровле. Здесь нередко наблюдается регрессивная микроритмичность. Преобладают горизонтальнослоистые образования, однако в районе оз. Сегозеро встречаются срезающие друг друга косослоистые серии с вогнутыми слоями. Нередки трещины усыхания и знаки ряби. Отложения четвертой пачки перекрываются пластом эффузивных диабазов, подстилающих осадки среднего ятулия.

Нижнеятулийские отложения района оз. Суоярви близки к сегозерско-селечкому типу. В схематическом описании разреза по отдельным разрозненным обнажениям на северном побережье оз. Суоярви (Соколов, 1963) дается такая последовательность залегания пород в составе толщи (от древних к молодым):

- 1) кора выветривания гнейсо-гранитов (до 30 м);

- 2) кварцевые конгломераты (2–3 м);
- 3) кварцито-песчаники разномзернистые, зеленовато-серые, с прослоями конгломератов (120–150 м);
- 4) кварцито-песчаники светло-серые с кварцевыми конгломератами в верхах разреза (100–120 м).

Древняя кора выветривания („базальные сланцы“), впервые отмеченная здесь А. Метцгером (Metzger, 1924), представляет собой мощную толщу серицитизированного гранита, нередко постепенно переходящего в кварцито-серицитовый сланец, серицито-кварцевый песчаник и песчаник с серицитовым цементом. Кварцевые конгломераты состоят из округлых и овальных галек жильного кварца до 15 см в поперечнике, сцементированных песчаником. Кварцито-песчаники средне- и крупнозернистые, иногда с микроклином, типичного для ятулия зеленовато-серого цвета с различными оттенками, содержат местами почти сливные кварциты. В кровле нижнего ятулия залегает пластовое тело основных эффузивных порфиров, которое прослеживается от северного берега оз. Суоярви на северо-восток по западному крылу структуры до местечка Хауккавара, где они выклиниваются и появляются вновь севернее в 1–1.5 км. Их мощность достигает 20–25 м. Выше залегает среднеятулийский конгломерат с галькой порфирита.

Разрез нижнего ятулия в районе дер. Костомукса, по данным А.И. Кайряка, также следует рассматривать вместе с сегозерскими разрезами. Более того, здесь можно ориентировочно выделить в составе нижней осадочной подтолщи те же четыре пачки, что и в районе оз. Сегозеро. В основании ятулийских отложений здесь встречена кора выветривания плагиомикроклиновых гранитов мощностью до 50–60 м. Образования коры выветривания с размывом перекрываются мелкогалечным кварцевым конгломератом (5 м), кварцевыми и полевошпато-кварцевыми песчаниками, содержащими прослой зеленоватых или розовых алевролитов. Эти образования могут быть выделены в составе первой пачки мощностью 78 м. Выше по разрезу появляются кварцевые песчаники, кварцито-песчаники и кварциты второй пачки мощностью 85.5 м. Третья пачка представлена полевошпато-кварцевыми и кварцевыми песчаниками и кварцито-песчаниками, в основании преобладающе гравелитовой размерности, зеленовато-серого цвета, вверху переходящего в розовый и фиолетовый. Мощность третьей пачки 40 м. К четвертой пачке следует отнести средне- и крупнозернистые зеленоватые и розовато-серые песчаники (29 м), которые после перерыва в 23 м сменяются 70-метровой толщей эффузивного миндалекаменного диабазы.

Нижнеятулийские отложения, развитые на обширной территории Янгозерско-Чинозерской, а также Лубосалмской и Мотко-Волосской структур, в целом соответствуют сегозерско-селецкому ти-

пу, но по строению и литологическим особенностям первой пачки, испытывающим сильные изменения на площади, значительно от него отличаются. В связи с этим для данного района выделяются два подтипа внутри сегозерско-селецкого типа: маймъярвинский и энин-гиламбинский.

Отложения маймъярвинского подтипа занимают центральную часть Янгозерско-Чинозерской структуры от дер. Совдозеро-оз. Маймъярви на юго-востоке до северного края структуры. Некоторые черты этого типа присущи ряду разрезов Мотко-Воломской структуры, хотя последние скорее относятся к чиркокемскому типу. Мощности отложений данного типа значительны и еще более увеличиваются в северо-западном направлении (оз. Маймъярви - 650 м; дер. Кукъярви-пос. Гимопы - 1200 м). В пределах Янгозерско-Чинозерского района нижняя часть первой пачки расчленяется на три-четыре пласта, прослеживаемые на всей площади района.

Отложения маймъярвинского подтипа начинаются осадками второго пласта - кварцевыми (преимущественно) и другими конгломератами и гравелитами с грубоитмичным строением разреза, которые заполняют наиболее глубокие впадины древнего рельефа, достигая 500 м мощности. Располагающиеся выше осадки третьего пласта характеризуются в основном кварцевым гравелито-песчаниковым составом, мелкой ритмичностью, косоволнистой пучковидной слоистостью пород, подчеркиваемой черными слоями естественного рудного шлиха. Осадки четвертого пласта представлены кварцевыми и полевошпато-кварцевыми песчаниками, содержащими в цементе карбонат. Слоистость преимущественно горизонтальная. К северо-востоку от пос. Гумарино осадки четвертого пласта отделены от подстилающих сариопийских пород 6-метровым слоем кварцевых конгломератов.

Средняя часть первой пачки мощностью 100-110 м у оз. Маймъярви сложена преимущественно песчаниками различной зернистости с горизонтальной слоистостью. Встреченные косослоистые серии (оз. Пюкс) отличаются большой мощностью (1-3 м), пологим падением слоев и параллельностью границ. Состав пород преимущественно кварцевый, в районе оз. Маймъярви в них появляется до 10-15% плагиоклаза. Выше породы постепенно сменяются тонко переслаиваемыми различной зернистости песчаниками кварцевого состава, относимыми к верхней подпачке. Цемент песчаников кварцево-слюдистый и слюдистый. В районе оз. Маймъярви он содержит до 20% карбоната. Породы верхней части пачки отличаются более высокой степенью сортировки обломочного материала и лучшей его окатанностью. Здесь появляются кварцито-песчаники, знаменующие переход к образованиям второй пачки.

Осадочные породы второй пачки, развитые повсеместно, представлены кварцитами и кварцито-песчаниками. Их мощность доволь-

но выдержана и постепенно увеличивается на северо-запад от 130 м до 200 м. В разрезе выделяются ритмы мощностью от 2.5-3 м до 13 м, подошва которых сложена косослоистыми (крупные параллельные серии с нечеткими слоями) крупно- и среднезернистыми почти белыми кварцитами, а кровля - горизонтальнослоистыми зеленоватыми средне- и мелкозернистыми кварцито-песчаниками. Кварциты оснований ритмов - почти мономинеральная кварцевая порода, часто с гранобластовой структурой, на фоне которой бывают заметны реликтовые контуры первичных зерен.

Осадки третьей и четвертой пачек, известные лишь в окрестностях горы Пюкс, оз. Маймъярви и оз. Пизанец, имеют мощность от 25-30 м (гора Пюкс) до 100 м (оз. Пизанец). Они представлены гравелитами, крупно- и среднезернистыми песчаниками, реже мелкогалечными конгломератами.

Энингиламбинский подтип разреза нижнего ятулия характеризуется в первую очередь широким участием аркозовых и полевоспатовых пород в составе первой пачки. Они развиты в районах, расположенных по обе стороны полосы, занятой отложениями маймъярвинского подтипа в Янгозерско-Чинозерской структуре. Сходные образования встречаются в разрезах Лубосалмской и Мотко-Воломской структур. Мощности нижнеятулийских осадков данного подтипа в пределах Янгозерско-Чинозерского района меняются от 670-700 м (оз. Аконъярви) до 1030 м (оз. Пизанец).

Первый пласт базальной (первой) пачки в западной части Янгозерско-Чинозерской структуры представлен полимиктовыми песчаниками мощностью до 90 м, в восточной - мощными (до 400 м) грубообломочными аркозами делювиально-пролювиального типа. Второй пласт (конгломераты и гравелиты) в разрезах западного крыла отсутствует, в восточном крыле имеет небольшую мощность. Третий пласт на западе района характеризуется ритмичным строением. Кровли ритмов сложены сланцами со знаками ряби и трещинами усыхания. Начиная с осадков четвертого пласта и выше нижнеятулийские отложения данного подтипа сохраняют все особенности, присущие маймъярвинскому подтипу, что исключает необходимость их описания.

Осадочные образования нижнего ятулия на площади Янгозерско-Чинозерской структуры перекрываются вулканогенными породами основного состава, слагающими до трех лавовых потоков (покровов) мощностью до 90 м с прослоями туфогенно-осадочных пород между ними.

Нижнеятулийские отложения, развитые в пределах Лубосалмской структуры, по своим особенностям приближаются к энингиламбинскому подтипу разреза. Как и в районе горы Энингиваара, ятулийские образования здесь залегают на слабовыветреной поверхности полимиктовых конгломератов или гранито-гнейсов. Большую

часть разреза занимают залегающие в основании грубозернистые и гравелитовые полевошпатовые и аркозовые породы с видимой мощностью 500 м (предполагаемая полная мощность до 750 м), которые наряду с вышележащими тонкослоистыми мелко- и среднезернистыми песчаниками мощностью 250 м составляют первую пачку нижней осадочной подтолщи. Вторая пачка, сложенная ритмично переслаивающимися кварцитами и кварцито-песчаниками с параллельной прямолинейной кривой слоистостью, имеет мощность 130 м. Тонко горизонтальнослоистые мелко- и среднезернистые песчаники мощностью 60 м венчают разрез нижнего ятулия и всех ятулийских образований этого района.

Чиркокемский тип разреза нижнего ятулия выделяется для отложений, развитых в районе дер. Келло-Гора, р. Чирка-Кемь, оз. Н. Куйто. Основными особенностями этого типа (Сацук, 1960) являются большая мощность (1000–1500 м) и монотонный состав пород: мелко- и среднезернистые песчаники и кварцито-песчаники, редко кварцевые гравелиты, сланцы и аркозовые песчаники, а также широкое развитие тонкой горизонтальной слоистости и отсутствие эффузиев в разрезе нижнего ятулия. К данному типу разреза относятся также нижнеятулийские образования, развитые в районе озер. Мотко и Волома. Образования первой пачки в пределах Мотко-Воломской структуры делятся на три части. Нижняя часть в основании сложена аркозовыми гравелитами, сверху сменяющимися кварцевыми гравелитами и песчаниками. Мощность аркозов, достигающая 500 м в юго-западной части структуры (оз. Палапампи), в северном направлении постепенно убывает на протяжении 20 км вплоть до полного выклинивания. Песчанико-гравелитовые породы пачки прослеживаются вдоль всей структуры при мощности ее 350–400 м. Средняя часть пачки мощностью 140–300 м представлена преимущественно светло-зелеными, мелко- и среднезернистыми песчаниками, в подошве ритмичнослоистыми. В строении ритма в незначительных количествах принимают участие гравелиты и мелкогалечные конгломераты. Верхняя часть пачки мощностью около 400 м характеризуется появлением в разрезе кварцито-песчаников. В основании ее также присутствуют гравелитовые и конгломератовые прослои. Слоистость пород горизонтальная с единичными мелкими мультислоистыми сериями, полого срезающими друг друга.

Осадочные образования второй пачки, занимающие ядра синклинальных складок, представлены розовато-серыми, светло-серыми и сиреневыми кварцитами и зеленоватыми кварцито-песчаниками мощностью 140 м. Преобладает тонкая горизонтальная слоистость.

В районе оз. Палапампи породы второй пачки перекрываются монотонно горизонтально переслаивающимися мелко- и среднезернистыми песчаниками мощностью 160 м. Эти образования, завершающие здесь разрез ятулийских отложений, относятся к третьей пачке

нижнего ятулия. Верхняя их часть по сумме геолого-литологических данных может быть отнесена к среднему ятулию.

Типы разреза нижнего ятулия, коротко охарактеризованные выше, выделены по ряду геолого-литологических особенностей, обусловленных фациальными условиями формирования соответствующих толщ пород. Последние не были постоянны на рассматриваемой территории, что и отразилось в сложной картине взаимосвязей и взаимопереходов различных типов разрезов нижнего ятулия. Образования медвежьегогорско-пяозерского типа, соответствующие пограничным частям области сноса, существовавшей здесь вплоть до конца нижнего ятулия, в общем северо-западном направлении постепенно переходят в отложения других типов. Ближайшая выделяющаяся ступень этого перехода - святнаволоцко-остречинский тип разреза - отличается от предыдущего большими мощностями, несколько лучшей окатанностью фрагментов осадка, естественно проявляющимся делением разреза на пачки. Севернее мощность нижнеятулийских пород еще более увеличивается, постепенно уменьшается зернистость пород, увеличивается доля горизонтальнослоистых текстур, в разрезе четко выделяются пачки - отложения приобретают черты сегозерско-селецкого типа. Еще севернее мощности начинают превышать 1000 м, преобладающими становятся мелко- и среднезернистые осадки с горизонтальнослоистыми текстурами, эффузивные породы выклиниваются - разрез становится близок к чиркокемскому типу.

Западнее, на участке горы Энингиваара-оз. Пизанец, мощности также больше, чем в соседнем районе оз. Сегозеро, причем больше за счет появляющихся в основании мощных толщ аркозовых отложений. Это энингиламбинский подтип сегозерско-селецкого типа. Западнее и юго-западнее, в центральной части Янгозерско-Чинозерской структуры глубокую "долину" в поверхности доятулийского фундамента заполняют отложения маймъярвинского подтипа. Еще западнее отложения вновь обретают некоторые черты, свойственные энингиламбинскому подтипу. В южной части Янгозерско-Чинозерской структуры переходы между двумя подтипами хотя и постепенны, но достаточно четки. Севернее и северо-западнее различия стираются, а в Лубосалмской и особенно Мотко-Воломской структурах вообще нечетки, и разрезы в этих районах больше похожи уже на чиркокемский тип.

Средний ятулий

Среднеятулийские образования, сменяющие в разрезе породы нижнего ятулия, встречаются почти во всех ятулийских структурах за исключением Лубосалмской и Мотко-Воломской, где их существование, как указывалось, является предположительным. Условия обнаженности в районах озер Сегозеро-Елмозеро, Селецкого-Янгозеро-Чинозеро, Пальеозеро и р. Кумсы таковы, что на поверхности наблюдаются породы преимущественно верхней вулканогенной подтолщи среднего ятулия, представленные устойчивыми против эрозии диабазами, тогда как породы нижней осадочной подтолщи обнажаются редко. Это ограничило возможности специальной обработки среднеятулийских материалов лишь 12-ю разрезами для указанных районов. По территории Онежской и Суоярвской структур, где обнаженность в смысле возможности описания полного разреза толщи еще хуже, имеются наблюдения и результаты опробования по скважинам, любезно представленные В.А. Соколовым.

Среднеятулийские образования, развитые в пределах Онежской и Суоярвской структур, представляют собой „онежскую серию“ ятулия, сланцево-карбонатный характер пород которой значительно отличает их от терригенных аналогов „сегозерской серии“. Вопросы корреляции разрезов указанных серий остаются объектом оживленной дискуссии для среднего ятулия.

Характеристику среднеятулийских образований, очевидно, так же удобнее дать соответственно выделенным для них типам разрезов среднего ятулия: прионежско-суоярвскому, медвежьегорско-койкарскому, куйкамбинскому, восточно-сегозерскому, елмозерско-селецкому.

Среднеятулийские отложения прионежско-суоярвского типа разреза распространены в пределах Онежской структуры (за исключением краевых частей) и в районе оз. Суоярви. Строение и литогические особенности их неоднократно и достаточно полно излагались в печати (Соколов, 1955, 1956, 1958, 1960, 1963), поэтому ниже приводится лишь самая общая характеристика только тех разрезов, которые используются в работе.

Разрез среднеятулийских образований района оз. Пяозеро терригенно-карбонатной толщи, описанной по керну скважин СЗТГУ (Соколов, 1963), расчленяется на несколько пачек. Нижняя известково-брекчиево-глинистая пачка, залегающая на поверхности нижнеятулийских диабазов, начинается кварцевыми косослоистыми конгломератами, которые выше сменяются кварцито-песчаниками, алевролитами, розовыми тонкослоистыми известняками, доломитовыми известняками и доломитами, перекрывающимися мощным пластом сланцевой брекчии с прослоями глинистых сланцев. Мощность пач-

ки 80-90 м. Следующая песчано-доломитовая пачка сложена разнo-зернистыми доломитами серых, розовых и красноватых цветов. В доломитах этой пачки, обнажающихся на берегу оз. Сундозеро, известны строматолиты. Мощность пачки 40-50 м. Третья, доломито-песчано-глинистая пачка содержит в основании прослой доломитового конгломерата и характеризуется широким развитием серых и темно-коричневых глинистых сланцев (возможно, с туфогенным материалом), переспаивающихся с алевролитами и песчаниками. Меньшую часть разреза занимают песчанистые и слюдистые доломиты. Мощность пачки 75-80 м. Выше залегают доломиты кремнисто-доломитовой пачки, обогащенные кварцем (кремнем) в виде прослоев и желваков. На берегу оз. Пяозеро в подобных доломитах встречаются проблематические формы строматолитов. Мощность пачки 60-70 м. Последняя гематито-песчано-глинистая пачка сложена песчано-глинистыми и глинистыми сланцами, обогащенными гематитом, песчаниками и в меньшей степени доломитами. Мощность пачки 26 м. Для пород рассматриваемых пачек характерны горизонтальнослоистые текстуры, в кварцито-песчаниках - знаки ряби, в песчано-глинистых сланцах - трещины усыхания. Разрез среднего ятулия венчается покровом эффузивных диабазов мощностью 25-30 м.

В районе оз. Суоярви среднеятулийские отложения делятся также на несколько пачек, синхронных рассмотренным выше. В основании залегают породы известняково-доломито-песчаниковой пачки, представленной в подошве конгломерато-брекчией с галькой кварца и обломками порфирита. Выше располагаются кварцито-песчаники, сланцевые брекчии и песчаники с карбонатным цементом, которые в западном направлении сменяются глинистыми сланцами, доломитами и известняками. Севернее, в районе дер. Хауккаваара, нижнеятулийские диабазы отсутствуют, и породы пачки лежат непосредственно на кварцито-песчаниках осадочной подтолщи нижнего ятулия. Здесь разрез начинается прослоем кварцевой брекчии с доломитовым цементом, а выше следуют кварцевые доломиты. Мощность пачки около 20 м. Выше залегает глинисто-доломитовая пачка, представленная белыми и серыми разнoзернистыми доломитами, прослоями глинистых сланцев, доломитовых известняков, песчаника с доломитовым цементом. Мощность пачки 50-60 м. В разрезе у дер. Хауккаваара пачка сложена разноцветными доломитами мощностью 30-35 м.

Следующая глинисто-доломито-известняковая пачка в районе оз. Сюаярви сложена разнообразными известняками (доломитовыми, кварцевыми, слюдистыми и реже чистыми), доломитами (кварцевыми, известковыми) и смешанными карбонатно-терригенными породами (песчаники с карбонатным цементом, глинисто-карбонатные сланцы и пр.). Мощность пачки до 90 м. Севернее этим породам

соответствуют несколько прослоев глинистых сланцев среди доломитов общей мощностью 20–25 м. Выше располагаются породы песчано-доломитовой пачки мощностью 35–40 м, среди которых имеются различные доломиты (в том числе широко представлены кремнистые доломиты), доломитовые брекчии с песчано-доломитовым цементом и песчано-глинистые сланцы. В районе дер. Хауккаваара пачка представлена доломитами и песчаниками с доломитовым цементом мощностью 60–70 м. Завершающая разрез песчано-гематитово-глинистая пачка характеризуется наличием гематитовых прослоев среди сланцев, песчаников и доломитов. На плоскостях напластования сланцев наблюдаются трещины усыхания, а в кварцито-песчаниках – знаки ряби. Мощность пачки изменяется в пределах 5–30 м. В кровле среднего ятулия залегает покров диабазов и мандельштейнов мощностью до 30 м. Основные породы покрова прослеживаются от оз. Суоярви к оз. Сюаярви и далее к дер. Хауккаваара, где они или выклиниваются или имеют очень малую мощность. Далее к северу полоса этих пород вновь расширяется.

Среднеятулийские отложения прионежско-суоярского типа, развитые на большей части Онежской структуры, в северо-западном и северном ее обрамлениях сменяются терригенными образованиями медвежьегорско-койкарского типа, а южнее г. Медвежьегорска – куйкламбинского. Этот переход в некоторой степени иллюстрирует разрез среднеятулийских образований в районе пос. Гирвас, характеризующим медвежьегорско-койкарский тип разреза среднего ятулия.

В береговых обрывах р. Суны близ пос. Гирвас установлено, что на слабоволнистой трещиноватой поверхности нижнеятулийских диабазов залегают кварцевые конгломераты и гравелиты мощности 0,5 м с редкой галькой диабазов и полевого шпата, переходящие выше в мелко- и среднезернистые, частью аркозовые, кварцито-песчаники. В нижней части кварцито-песчаников наблюдаются многочисленные мелкие однонаправленные косослоистые серии, срезающие, иногда мульдобразные. В кровле преобладают горизонтальнослоистые породы с асимметричными знаками ряби на плоскостях напластования. Мощность кварцито-песчаников 2 м. Выше лежащие грубозернистые песчаники мощностью 2,5 м содержат крупные косослоистые серии (до 1 м мощностью) с прямыми и изогнутыми выполаживающимися к основанию слоями.

На неровной размытой поверхности песчаника залегают кварцевые конгломераты и гравелиты с аркозовым цементом. Конгломераты не выдержаны по простирацию, чаще залегают в „карманах размыва“, а выше постепенно сменяются грубозернистыми, затем среднезернистыми кварцито-песчаниками. Слоистость грубая, местами неотчетливо косая. После залегающих в кровле этой осадочной части разреза мелкозернистых песчаников следуют породы

осадочно-вулканогенной подтолщи среднего ятулия. В основании они представлены 4-метровым потоком лавовых диабазов с шаровыми лавами в подошве и червеобразными миндапинами в кровле, на поверхности которого найдена волнистая поверхность „языка течения“ лавы. Выше залегают аналогично построенный второй поток эффузивного диабазов мощностью 7 м. После небольшого перерыва встречены пестрые по составу горизонтально-слоистые породы, представляющие собой различные переходы от типично туфовых и песчаных до чисто карбонатных разностей (мощность 3 м), сменяющиеся выше слоистыми туфами мощностью 3,5 м.

Разрез среднеятулийских образований района дер. Койкары близок к вышеописанному. Здесь нижняя часть разреза сложена чередующимися мелкогалечными конгломератами и гравелитами, нередко косослоистыми, мощностью 6,5 м, а верхняя — среднезернистыми, с прослоями грубо- и мелкозернистых, песчаниками, содержащими редкие тонкие, иногда размытые прослои сланцев. Часто встречается мелкая косая слоистость, редко — знаки ряби и трещины усыхания. Общая мощность осадочных пород среднего ятулия 12 м. Выше залегающие эффузивные диабазы слагают несколько потоков общей мощностью 150 м.

Севернее, на восточном берегу оз. Сапваламби осадочная подтолща среднего ятулия имеет большую мощность (26–32 м). Здесь в основании лежат переслаивающиеся косослоистые, часто сильно ожелезненные гравелиты и грубозернистые песчаники мощностью до 15 м. Выше эти породы сменяются мелко- и среднезернистыми горизонтально-слоистыми песчаниками, а в кровле разреза — грубозернистыми песчаниками и гравелитами. В осадочно-вулканогенной подтолще насчитывается 7 потоков, сложенных диабазами и миндапейштейнами общей мощностью 170 м.

Образования, сходные с медвежьегорско-койкарским типом, известны также в долине р. Ялгамки и в большей части Кумсинской синклинали (оз. Фенькиналамби и дер. Плаковаара). В пределах последней по направлению к г. Медвежьегорску происходит уменьшение мощности осадочной части разреза и увеличение в нем доли грубозернистых пород. На северной окраине г. Медвежьегорска разрез среднего ятулия начинается маломощными кварцевыми конгломератами с отдельной галькой диабазов, лежащими на неровной поверхности эффузивных пород нижнего ятулия. Выше следуют косослоистые гравелиты и реже песчаники с единичными алевролитовыми прослоями. Близ верхнего контакта появляются снова маломощные мелкогалечные кварцевые конгломераты. Мощность этих пород 6–7 м. Разрез среднего ятулия продолжается здесь несколькими потоками основных эффузивов с видимой мощностью 140 м, содержащих в нижней части горизонты туфогенно-осадочных пород небольшой мощности. Аналогичного состава образования среднего ятулия встречены и в районе дер. Лумбуши.

К югу от г. Медвежьегорска мощность осадочной части разреза среднего ятулия убывает еще больше, здесь развит куйкпамбинский тип разреза среднего ятулия, характеризующийся крайне малой мощностью осадочных образований и большим количеством ассоциирующих с ними вулканогенных продуктов. Так, у оз. Куйкпамби на размытой поверхности покрова нижнеятулийских эффузивов залегают кварцевые конгломераты, содержащие обломки полевых шпатов и диабаз, и разнозернистые песчаники, сменяющиеся выше различными вулканогенными (в том числе и туфовыми) образованиями. Мощность осадочных пород среднего ятулия не превышает 2.5 м. Выше в разрезе появляются эффузивные диабазы. Среднеятулийские отложения аналогичного типа прослеживаются южнее, где они содержат добывавшиеся ранее медные сульфидные руды. Мощность осадочных пород меняется от 3 м до 12 м.

В пределах Кумсинской синклинали среднеятулийские образования претерпевают закономерные изменения в северо-западном направлении: увеличивается мощность осадков, уменьшается зернистость пород и т.д. В районе оз. Сегозеро эта закономерность продолжается и характер разреза настолько отличен от предыдущих, что здесь выделяется следующий, восточно-сегозерский тип разреза среднего ятулия. Отложения этого типа развиты вдоль восточного берега оз. Сегозеро и на Каличьих островах. Мощность осадочной подтолщи, составляющая 36.5 м в Глухой губе и менее 45 м на острове Лехта-2, к югу и северу увеличивается до 50-55 м.

В наиболее типичном по строению разрезе района Глухой губы установлена такая последовательность пород первой пачки (снизу вверх):

- на размытой поверхности диабазов нижнего ятулия залегают косослоистые граувакковые песчаники первой пачки мощностью 1 м; косая слоистость в параллельных сериях с прямыми или слабо волгнутыми слоями;

- мелко- и среднезернистые зеленоватые песчаники мощностью 2.3 м с прослоем (0.1 м) сланца; в верхней части параллельная косая слоистость в мелких сериях;

- переслаивающиеся крупно- и среднезернистые косослоистые песчаники мощностью 3 м с прослоем мелкогалечного конгломерата в основании;

- зеленоватые крупнозернистые песчаники с параллельными мелкими косослоистыми сериями мощностью 3.0 м;

- мелкозернистые песчаники с неполно развитой косой слоистостью мутьеобразного типа мощностью 2.6 м;

- серые пятнистые песчаники с косоволнистой слоистостью мощностью 5.2 м; на плоскостях напластования имеется асимметричная рябь с заостренными гребнями;

– мелкозернистые песчаники мощностью 1.3 м со слойками пятнистых зеленоватых сланцев; в песчаниках наблюдаются срезающие косослоистые серии;

– коричневые сланцы мощностью 0.4 м;

– крупно- и среднезернистые песчаники с косою слоистостью в основании мощностью 1.3 м;

– сиренево-серые алевролиты (0.5 м), полосчатые среднезернистые песчаники мощностью 1.1 м.

– переслаивание мелкозернистых песчаников, алевролитов и сланцев, содержащих игольчатые кристаллы амфиболов, общей мощностью 3.6 м;

– мелко- и среднезернистые песчаники мощностью 4.7 м со слабо выраженной косою слоистостью мутьеобразного типа.

Нижняя пачка заканчивается алевролитами мощностью 0.3 м.

Вторая пачка начинается мелко- и среднезернистыми косослоистыми песчаниками с мелкими обломками сланцев в основании. Мощностью пачки 2.5 м.

Выше залегают светло-серые от мелко- до крупнозернистых косослоистые песчаники (1.4 м), сменяющиеся грязно-зелеными мелкозернистыми горизонтальнослоистыми песчаниками мощностью 4.8 м.

После перерыва в 1.3 м залегают эффузивные диабазы мощностью 240 м, состоящие из 12 отдельных покровов (потоков).

В северном и западном направлениях отложения восточно-сегозерского типа сменяются образованиями елмозерско-селецкого типа, которые характеризуются большими мощностями (до 80–100 м) и весьма монотонным однородным составом терригенного материала, подавляющая часть которого представлена мелко- и среднезернистыми разностями. Аналогичные, несколько грубые в основании разности песчаников характерны для разрезов среднего ятулия, известных в районе озер Чинозеро-Янгозеро. Среднеятулийские осадки всюду перекрываются эффузивными диабазами, состоящими из нескольких потоков (покровов).

Отложения различных типов разреза постепенно сменяют друг друга по латерали. Развитые в южной и юго-восточной частях рассматриваемой области терригенно-карбонатные отложения прионежско-суоярвского типа в районах пос. Гирвас-дер. Койкары и г. Повенец-г. Медвежьегорск переходят в располагающиеся северо-западнее отложения медвежьегорско-пяозерского типа. Этот переход сопровождается значительным (со 150–200 м до 5–10 м) уменьшением мощности осадочных и увеличением (от 20–30 м до 200 м и более) мощности эффузивных пород, довольно резкой сменой характера осадочных пород. Это наиболее четкая из всех границ между различными типами. Внутри сравнительно узкой полосы, занимаемой медвежьегорско-пяозерским типом разреза располагаются участки

(подобные району оз. Куйкламби), где развиты отложения куйк-ламбинского типа, в центральных частях которых располагались, по-видимому, наиболее стабильные части среднеятулийской области сноса. Севернее медвежьегорско-пяозерский тип разреза сменяется восточно-сегозерским, а к северо-западу — елмозерско-селецким.

Геологические данные свидетельствуют о том, что сопоставление разрезов перечисленных типов отвечает мнению о синхронности „сегозерской“ и „онежской“ серий ятулия (Соколов, 1963). Кроме того, предполагается синхронность нижней части пород вулканогенной подтолщи среднего ятулия „сегозерской серии“ с терригенно-карбонатными породами верхов прионежско-суоярвского типа разреза. При этом эффузивный пласт диабазов, завершающий среднеятулийские образования Онежской и Суоярвской структур, сопоставляется с верхними потоками (покровами) эффузивов, развитых в других районах. Основанием для такого предположения являются: наличие прослоев туфогенно-карбонатных (пос. Гирвас) и терригенных пород между нижними потоками эффузивных диабазов, развитых северо-западнее линии г. Медвежьегорск-оз. Пальеозеро, и широкое развитие кремнистых доломитов и прослоев сланцев, в составе которых усматривается отражение влияния синхронного базальтового вулканизма (Соколов и др., 1971) в соседних районах.

Верхний ятулий

Верхнеятулийские осадочные породы, за исключением Лубосалмской и Мотко-Воломской структур, встречаются на всех участках развития ятулийских образований. Они слагают ядра синклинальных складок. Осадки верхнего ятулия залегают на размытой поверхности среднеятулийских эффузивных диабазов. Местами последние подвергались процессам выветривания, геохимические особенности которого мало отличались (Соколов, Хейсканен, 1966) от известных в нижнем ятулии. Верхнеятулийские осадки везде начинаются довольно грубыми (гравелит, конгломерат) породами, переходящими выше в песчаники и сланцы. Разрезы завершаются карбонатными образованиями, за которыми следуют шунгитсодержащие толщи (Онежская и Суоярвская структуры). Мощность верхнеятулийских отложений достигает 300–350 м. Обычно они делятся на две пачки.

Условия обнаженности позволяют в дальнейшем использовать разрезы только низов верхнего ятулия на Каличьих островах, оз. Сегозеро и на побережье оз. Елмозеро, относящиеся к сегозерско-елмозерскому типу.

Наиболее полный типичный разрез прослеживается по берегам о-ва Макконсари (оз. Сегозеро). Здесь на поверхности покрова основных пород залегают:

- крупнозернистый песчаник с мелким гравелитом, косослоистый, мощностью 2.4 м;
- песчаник крупнозернистый с хлорит-серицитовым цементом, чередующийся с кварцитами, песчаниками и кварцево-серицито-хлоритовыми сланцами, мощностью 1 м;
- песчаник крупнозернистый, косослоистый, с обломками сланца в основании, мощностью 18 м;
- горизонтальнослоистый кварцито-песчаник с пустотами кубической формы мощностью 1.8 м;
- рудный (гематитовый) сланец мощностью 0.6 м;
- песчаник крупно- и среднезернистый, горизонтальнослоистый, мощностью 4.7 м;
- переслаивание крупнозернистого песчаника с мелким гравелитом и мелкозернистым песчаником; в основании наблюдается срезающая или параллельная однонаправленная косая слоистость; общая мощность 15.5 м;
- песчаник крупнозернистый с мелким гравием, косая слоистость мульдобразная, слабо срезающая и параллельная, мощность 2.1 м;
- кварцевый гравелит с гематитом в цементе мощностью 8.6 м;
- мелкий гравелит с черными слюдистыми и гематитовыми сланцами в кровле, мощность 2.0 м;
- перерыв 2.1 м;
- тонкое переслаивание мелко- и среднезернистых песчаников со слюдистыми и рудными сланцами, мощность 6.3 м;
- мелкие гравелиты и песчаники с прослоями (до 0.3 м) доломита, мощность 8.2 м;
- переслаивание крупнозернистых косослоистых песчаников с мелкозернистыми и сланцами, общая мощность 4.4 м;
- косослоистый кварцитовидный песчаник с карбонатным цементом, в основании прослой песчано-карбонатной породы, мощностью 4.0 м;
- песчаники мелко-, средне- и крупнозернистые, образующие совместно с прослоями сланцев ритмы 1-2 м мощностью, преобладает срезающая и мульдобразная косая слоистость, мощность 23.8 м;
- сланец буровато-серый, с трещинами усыхания, мощностью 3.0 м.

На о-ве Макконсари разрез отложений верхнего ятулия этим и заканчивается. На северном берегу оз. Елмозеро более высокие горизонты разреза сложены ритмично построенными сериями мощно-

стью 2–13 м с кирпично-красными алевролитами в кровле, горизонтально-слоистыми средне- и мелкозернистыми песчаниками и тонко переслаивающимися сланцами, алевролитами и песчаниками, характер переслаивания которых напоминает ленточные глины. В верхней части разреза располагаются различные карбонатные породы.

Условия образования ятулийских отложений

Как уже указывалось выше, основной задачей данной работы является применение методов изучения стохастических процессов к исследованию ятулийского осадконакопления. Объективность получаемых при этом выводов предполагается устанавливать путем сравнения с результатами обычного литологического анализа осадочных толщ, выполненного несколько ранее (Соколов и др., 1970) и в конспективной форме излагаемого здесь.

При изучении столь древних осадочных образований, как ятулийские, для которых определения абсолютного возраста различными методами дают цифры порядка 1700–1900 млн лет, особую остроту приобретает выбор методики. Не представляется возможным, в частности, для восстановления условий образования пород, метаморфизованных до стадии зеленых сланцев, непосредственно использовать методы, применяемые к более молодым образованиям. И хотя в качестве основы были приняты широко известные методы изучения осадочных пород, специфика объекта привела к некоторым изменениям в способах генетической интерпретации литологических данных.

Последовательность работы по установлению происхождения ятулийских осадков состояла из следующих операций.

1. Детальные наблюдения над породами в слоях с особым вниманием на гранулометрию, минералогию и текстурные особенности. Полученные сведения позволяют, используя существующие схемы (Ботвинкина, 1965), наметить пути генетической интерпретации литологических особенностей пород.

2. Анализ генетических сочетаний текстурных признаков и других литологических данных в осадочных породах, позволяющий детализировать предположения об их генетической природе.

3. Анализ ритмичности осадочных пород, направленный на выделение морфологических типов малых ритмов (Галдобина, 1966) в ятулийских осадках и выяснение условий их формирования на основе изучения вещественного состава пород, слагающих ритмы, и при сущих им текстурных особенностей. Результатом этого этапа иссле

дований, проводившегося одновременно с анализом генетических сочетаний текстурных признаков, явились сведения о смене фациальных условий, отражаемой в строении того или иного типа ритма, и фациальной обстановке, при которой эти ритмы формировались.

4. Составление гранулометрических, текстурных профилей и профилей типов малых ритмов. Эти профили, охватывающие редкой сетью всю изученную площадь, позволяли анализировать смену и переходы соответствующих характеристик в пространстве, занятом ятулийскими образованиями. Затем на их основе, используя результаты всех указанных выше операций, строились фациальные профили, иллюстрирующие смену условий образования осадков на площади и в разрезе.

5. Составление схемы фациальных обстановок для различных моментов ятулийского времени, которые иллюстрируют полученные сведения о площадном распространении фаций во время ятулийской седиментации.

Не вдаваясь в дискуссию по поводу терминологии, используемой при фациальном анализе, отметим, что в основе дальнейших построений используется следующий ряд генетически связанных понятий и терминов: фация, группа фаций, фациальная обстановка. Принятая схема соподчинения генетических комплексов разного порядка наиболее сходна со схемой, предложенной Г. Ф. Крашенинниковым (1962). В отличие от последней ниже используется термин „группа фаций“, а не „генетический тип“, что объясняется желанием освободиться от необоснованной категоричности при интерпретации часто недостаточных данных. Аналогичные соображения обусловили появление термина „фациальная обстановка“, обозначающего наиболее общий генетический комплекс.

Анализ литологических данных по ятулийским осадкам свидетельствует, что главными фациальными обстановками в ятулийской седиментационной области были континентальная, бассейновая и переходная, или прибрежная, отвечающие соответственно условиям суши, моря и крупных внутренних водоемов или прибрежного мелководья до пляжа и дельты.

Период формирования базальных образований ятулия. К началу ятулийского времени формирование фундамента платформы практически закончилось. На месте Карельской геосинклинали образовался блок земной коры повышенной мощности (рис. 2), изостатическое воздымание которого привело к сводовым поднятиям фундамента в сумийско-сариолийское время (рис. 3). После некоторого выравнивания территории начинается формирование кор выветривания, знаменующих собой начало ятулийского времени. Эти коры выветривания по своим особенностям отвечают сиаплитному элювию Б. Б. Полюнова (1934). Обызвесткованный элювий, залегающий на некоторых участках в подошве ятулийских образований,

рассматривается в качестве производной аккумуляции данного типа выветривания.

Изучение вещественного состава пород коры выветривания и производных аккумуляций показывает (Соколов, Хейсканен, 1966), что они формировались в условиях теплого недостаточно влажного климата. Их верхние горизонты имели гидрослюдистый и каолинистый (а возможно, и галлуазитовый) состав. Поверхностные воды атмосферного происхождения имели кислую, а грунтовые – щелочную реакцию. В ряде пунктов горизонтом карбонатизации зафиксировано положение древней поверхности грунтовых вод. Характерно довольно высокое его положение по отношению к древней дневной поверхности. Воды мелких замкнутых бассейнов на участках развития обызвесткованного элювия имели резко щелочную реакцию. Вытекающие отсюда особенности осаждения карбонатов (Страхов, 1962) находят подтверждение в разрезах соответствующих базальных образований.

Характеристика условий образования кор выветривания дополняется указаниями на наличие свободного кислорода в раннеятулийской атмосфере. Об этом свидетельствует отчетливое увеличение соотношения окиси и закиси железа от свежих к выветрелым породам. Результаты изучения кор выветривания не противоречат, а скорее подтверждают предположения о высоком содержании углекислоты (Страхов, 1962; Лукашов, 1963) в древнейшей атмосфере Земли.

Анализ распределения кор выветривания на территории Центральной Карелии (рис. 6) позволяет сделать некоторые выводы о характере рельефа и особенностях процессов денудации в различных местах поверхности доятулийского основания в начале ятулийского времени. В частности, полоса, прослеживающаяся вдоль озер Елмозеро, Селецкого и западного побережья оз. Сегозеро к району оз. Маймъярви и далее на запад, по-видимому, характеризовалась достаточно пересеченным рельефом. Здесь ятулийские осадки залегают на размытой поверхности не затронутых выветриванием более древних пород. Территория, расположенная к северо-западу от этой полосы, по всем данным погружалась раньше других, что и привело здесь к формированию маломощной коры выветривания, погребенной в ряде пунктов под мощными делювиально-пролювиальными ятулийскими отложениями. Таким образом, ранее упомянутая полоса может интерпретироваться как область склонов.

Южная и восточная части региона характеризуются почти повсеместным развитием кор выветривания, перемежаемых местами отложениями обызвесткованного элювия (острова и северо-восточное побережье оз. Сегозеро) и карбонатными осадками бессточных впадин. Эти районы, по-видимому, соответствуют наиболее возвышенным и водораздельным участкам поверхности доятулийского основания.

В распределении указанных элементов рельефа, несмотря на естественную неполноту сведений о распределении коры выветривания и других базальных образований, вызванную условиями обнаженности, отчетливо усматривается определенная унаследованность по отношению к структурным формам поверхности, установленным для сумийско-сариоллийского времени (рис. 3) и еще более ранним. В общем рельеф в ятулии создается движениями, иногда инвертированными, тех блоков фундамента, формирование которых началось задолго до рассматриваемого времени.

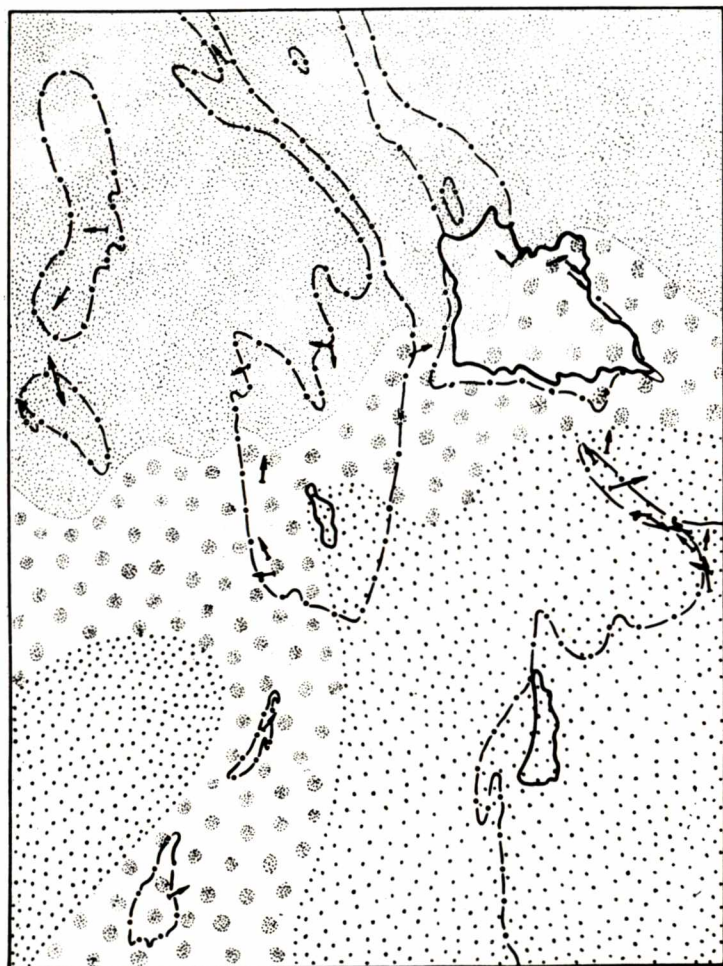
Период формирования отложений первой пачки нижнего ятулия. Этот начальный этап ятулийской седиментации характеризовался наличием трех фациальных обстановок: бассейновой терригенной, прибрежной и континентальной (рис. 7).

Континентальная фациальная обстановка, представленная озерными, делювиально-элювиальными, пролювиальными и аллювиальными группами фаций, установлена в районе Прионежья. Ее северная граница проводится южнее озер Сегозеро, Селецкого и Янгозера.

Озерная группа фаций определяется в районе г. Медвежьегорска, оз. Сундозеро. Осадки представлены средне- и мелкозернистыми, реже крупнозернистыми песчаниками с прослоями кварцевых галечников, а также алевролитами и глинистыми сланцами. Слоистость неотчетливая или тонкая горизонтальная. Изредка встречаются косослоистые серии с очень пологими слоями. Данные отложения заполняют впадины мезорельефа поверхности доятулийского основания и образуют линзообразные тела мощностью от 5-10 до 30-40 м.

Элювиально-делювиальная группа фаций установлена в районах г. Медвежьегорска, озер Сундозеро и Сегозеро. В рассматриваемый период их образование продолжалось. Элювиально-делювиальные брекчии подстилают или фациально сменяют озерные и прочие континентальные отложения.

Делювиально-пролювиальные отложения наблюдаются в разрезах у оз. Энингиламби, на о-ве Гриданосари и Глухой губе оз. Сегозеро, т.е. за пределами площади континентальной фациальной обстановки. Эти отложения залегают в основании разреза первой пачки, подстилая прибрежные и бассейновые осадки. Таким образом, они свидетельствуют о более широком распространении континентальных условий в начале периода. Отложения представлены валунными и галечными конгломератами и брекчиями гранитного, кварцевого и смешанного состава, кварцевыми и аркозовыми гравелитами, песчаниками и редко сланцами. Строение осадков четко ритмичное. Ритмы с сильно размытой кровлей мощностью 18-56 м следуют друг за другом. В основаниях ритмов прослеживается крупная параллельная косая слоистость, сочетающаяся с крупной горизонтальной слоистостью. Характер этих осадков указывает на близкий перенос их бурными временными потоками.



10 0 10 20 30 40 km

1 2 3

Аллювиальные осадки наблюдаются в обнажениях северо-западнее г. Медвежьегорска, в районе дер. Святнаволока, оз. Маймъярви и др. Обычно они заполняют долины древнего рельефа различной формы и размеров. Здесь отмечаются преимущественно породы кварцевого состава от конгломератов до гравелитов и песчаников, редко сланцев. Ритмичность в вертикальном разрезе осадков проявлена слабо, границы ритмов нечеткие. Мощность ритмов 0,8–3,5 м. В разрезе наблюдаются крупные параллельные косослоистые серии с прямыми слойками и линзовидные косослоистые серии. В отдельных пунктах выделяются фации русловые, приустьевой отмели, пойменные и пр.

Отложения континентальной фациальной обстановки образовались не повсеместно на поверхности суши, а лишь в изолированных участках, разделявшихся (это особенно справедливо для районов юго-восточной части территории) областями сноса обломочного материала. Судя по наблюдениям над падениями слойков косой слоистости, осадочный материал транспортировался в северном, северо-западном и западном направлениях.

Бассейновая фациальная обстановка терригенного осадконакопления существовала почти в течение всего времени формирования осадков первой пачки нижнего ятулия в северной части региона, ограничиваемой с юга южными берегами озер Елмозеро, Маслозеро и Мотко. В конце периода бассейновая фациальная обстановка распространялась дальше к югу, захватывая районы озер Сегозеро и Маймъярви.

Осадки бассейна с донными течениями представлены крупно-, средне- и мелкозернистыми песчаниками. Сортировка и степень окатанности улучшаются снизу вверх по разрезу, тогда как средняя зернистость в этом направлении убывает. Слоистость горизонтальная, простая, мелкая, сплошная или прерывистая. В нижней части разреза осадков встречаются крупные параллельные косослоистые серии. Породы преимущественно кварцевые и полевошпато-кварцевые. Ритмы в осадках устанавливаются с трудом. Мощность их широко варьируется, границы ровные, нечеткие.

При отсутствии заметных течений в бассейне накапливались преимущественно средние- и мелкозернистые кварцевые песчаники

Рис. 7. Палеофациальная схема формирования отложений первой пачки нижнего ятулия.

1 – мелководные фации; 2 – прибрежные фации; 3 – континентальные фации. Здесь и далее на рис. 8–11 стрелками показано направление сноса обломочного материала, установленное по измерениям азимутов падения косой слоистости в соответствующих отложениях.

и кварцито-песчаники с четкой мелкой горизонтальной слоистостью. Ближе к береговой зоне бассейна местами встречаются горизонтально-слоистые средне- и мелкозернистые песчаники с существенно карбонатным (до 15–30%) цементом. Возможно, это отложения лагун.

Прибрежная фациальная обстановка была распространена между областями, соответствующими континентальной и бассейновой обстановкам. Область прибрежной фациальной обстановки испытывала в рассматриваемый период времени общее перемещение в южном-юго-восточном направлениях. В конкретных участках здесь выделяются различные группы фаций.

Осадки пляжевой группы фаций наблюдаются в районе оз. Маймъярви и прослеживаются севернее и восточнее до пос. Гимолы. Породы представлены мелкогалечными кварцевыми конгломератами, гравелитами и крупнозернистыми песчаниками с хорошей сортировкой и окатанностью зерен. Четко выражены ритмы с ровными резкими границами мощностью 0,8–2,5 м. В осадках широко развита косоволнистая мелкая сплошная пучковидная слоистость и крупная прерывистая горизонтальная слоистость. В составе слоев косо-слоистых серий участвуют зерна темных рудных минералов (естественный шлик). Крупная горизонтальная слоистость выражена чередованием конгломератов и песчаников.

В районе восточного берега оз. Сегозеро, северо-восточнее оз. Аконъярви и в районе пос. Костамукса наблюдаются отложения группы фации периодически осушаемого прибрежного мелководья, представленные кварцевыми и полевошпато-кварцевыми конгломератами, различными песчаниками и в меньшей степени алевролитами и сланцами. Сортировка обломочного материала слабая, окатанность средняя. Ритмы небольшой мощности с размывом налегают друг на друга. В их кровлях встречены алевролиты и сланцы с трещинами усыхания на плоскостях напластования. В песчаниках подошвы ритмов развита крупная параллельная косая слоистость, отвечающая береговым течениям, и крупная слабо срезанная косая слоистость, образовавшаяся в прибрежных условиях. По латерали фации периодически осушаемого мелководья сменяются прибрежно-пляжевыми и бассейновыми.

Таким образом, во время накопления осадков первой пачки на значительной площади в районе Прионежья и западнее оз. Суоярви располагалась суша с расчлененным рельефом. Небольшие впадины на ее поверхности были заняты мелкими озерами. Обломочный материал реками и потоками переносился к северу и северо-западу. Обширную часть региона занимал бассейн с неравномерно прогибавшимся ложем. Терригенное осадконакопление, имевшее место в бассейне, отражало его в общем мелководный характер.

Период формирования отложений второй пачки нижнего ятулия. В данный период на рассматриваемой террито-

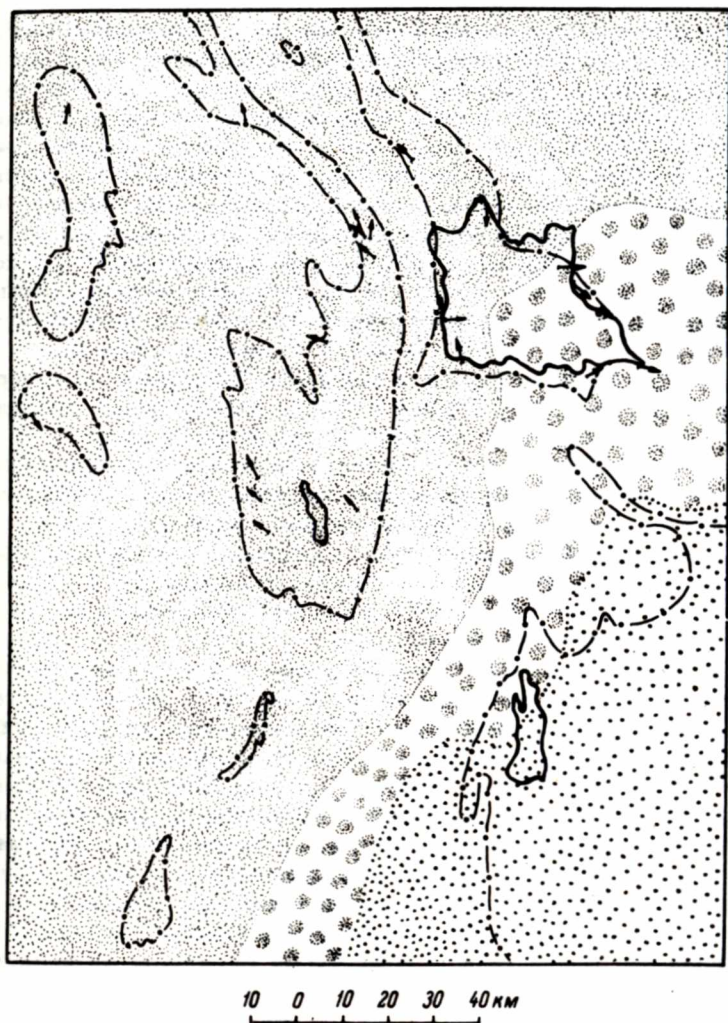


Рис. 8. Палеофациальная схема формирования отложений второй пачки нижнего ятулия.

Условные обозначения те же, что и на рис. 7.

рии продолжали существовать те же три фациальные обстановки: бассейновая с терригенным осадконакоплением, прибрежная и континентальная (рис. 8).

Бассейновая фациальная обстановка господствовала на большей части Центральной Карелии (исключая район Прионежья и юго-восточного побережья оз. Сегозеро). Весьма однородные кварцевые и глинисто-кварцевые осадки накапливались в однородных фациальных условиях. Чистые кварцевые пески отлагались в более или менее подвижной водной среде, тогда как в спокойных условиях происходило совместное осаждение кварцевого и глинистого материала. Периодическая смена указанных условий привела к образованию ритмов. В основании их развиты среднезернистые кварцито-песчаники и кварциты с крупными параллельными однонаправленными косослоистыми сериями, а в кровле — более мелкозернистые породы с горизонтальной простой или ритмичной слоистостью. Мощности частей ритмов и самих ритмов меняются в широких пределах.

При выдержанной мощности пород пачки (100–200 м) в северо-западном направлении несколько улучшается сортировка и уменьшается зернистость материала. В этом же направлении, судя по наблюдениям над косослоистыми текстурами, происходил основной перенос осадочного материала. В северо-западных участках области доля горизонтальнослоистых осадков значительно возрастает.

Прибрежная фациальная обстановка существовала между районами, соответствовавшими бассейну и суше. Здесь выделяются две группы фаций: прибрежных заливов, периодически отчленяемых от бассейна, и прибрежно-пляжевых.

Фации прибрежных заливов установлены для отложений, развитых на южном и восточном берегах оз. Сегозеро, где они представлены крупно- и мелкозернистыми слабо сортированными кварцевыми с примесью полевого шпата песчаниками, глинистыми сланцами и мелкозернистыми песчаниками. Последние, по-видимому, отвечают застойным водоемам с сероводородным заражением. Для этих отложений характерна четкая ритмичность. В подошвах ритмов развиты песчаники с крупной параллельной однонаправленной косой слоистостью, перемежающейся мелкими однонаправленными срезающими косослоистыми сериями. На плоскостях напластования нередки знаки волновой ряби. В строении кровли ритмов принимают участие зеленовато-серые сланцы с большим количеством кристаллов пирита и трещинами усыхания на поверхностях слоев.

Прибрежные пляжевые фации выделены в районе южного берега оз. Сегозеро, в районе оз. Фенькиналамби и дер. Плакковаара. Породы второй пачки представлены здесь ритмично переслаивающимися кварцевыми конгломератами, гравелитами, крупнозернистыми песчаниками и кварцито-песчаниками с хорошей сортировкой и окатанностью обломочного материала. Наблюдаются мелкие параллель-

ные однонаправленные косошпистые серии, разделенные простой мелкой горизонтальной шпистостью.

Континентальная фациальная обстановка сохранялась в районе г. Медвежьегорска, дер. Койкары и юго-восточнее. Здесь в изолированных впадинах продолжали накапливаться осадки мелких водоемов, а также аплювиальные плохо окатанные и слабо сортированные преимущественно грубообломочные отложения. Возвышения рельефа, перемежающиеся с депрессиями, служили областями сноса обломочного материала.

В рассматриваемый период большая часть территории была занята бассейном мелководного характера, в котором накапливались хорошо сортированные кварцевые пески. Существенной особенностью бассейна было неоднократное перемывание кварцевых осадков перед их захоронением. Существовавшая в юго-восточной части пологая суша поставляла в бассейн проработанный выветриванием осадочный материал.

Период формирования отложений третьей и четвертой пачек и вулканогенной подтолщи нижнего ятулия. Основные фациальные обстановки – бассейновая, прибрежная и континентальная – сохраняются и в этом периоде (рис. 9). В конце нижнего ятулия происходят излияния лав основного состава.

Бассейновая фациальная обстановка существовала в северной половине изученной площади. Соответствующие осадки представляют собой 120–160-метровую толщу кварцевых песчаников с серицитовым или карбонатно-серицитовым цементом. Шпистость горизонтальная, нечеткая, с редкими однонаправленными косошпистыми сериями. Осадки, по-видимому, накапливались на дне обмелевшего бассейна с периодическими донными течениями. В конце периода отмечается усиление процессов денудации в питающих областях, обусловившее появление полевых шпатов в обломочном материале и широкое развитие регрессивных типов ритмичной мелкой шпистости.

В районе оз. Сегозеро и южной части оз. Елмозеро преобладали более мелководные условия. Осадки мощностью 100–150 м представлены крупно- и среднезернистыми песчаниками, яркоокрашенными алевролитами и сланцами. Малые ритмы представлены несколькими разновидностями. В ряде случаев основание их сложено гравелитом, а кровля – неслоистыми песчаниками и алевролитами. Чаше встречаются ритмы, состоящие из песчаников с крупной параллельной и волнисто-мульдообразной или мелкой параллельной и слабо срезанной косой шпистостью в основании. В кровле этих ритмов располагаются сланцы и алевролиты, нередко со знаками ряби и трещинами усыхания на плоскостях напластования.

В кровле осадков нижнего ятулия здесь выделяются породы со значительной примесью полевошпатового материала и ритмичной мелкой горизонтальной шпистостью, в которой по вертикали четко

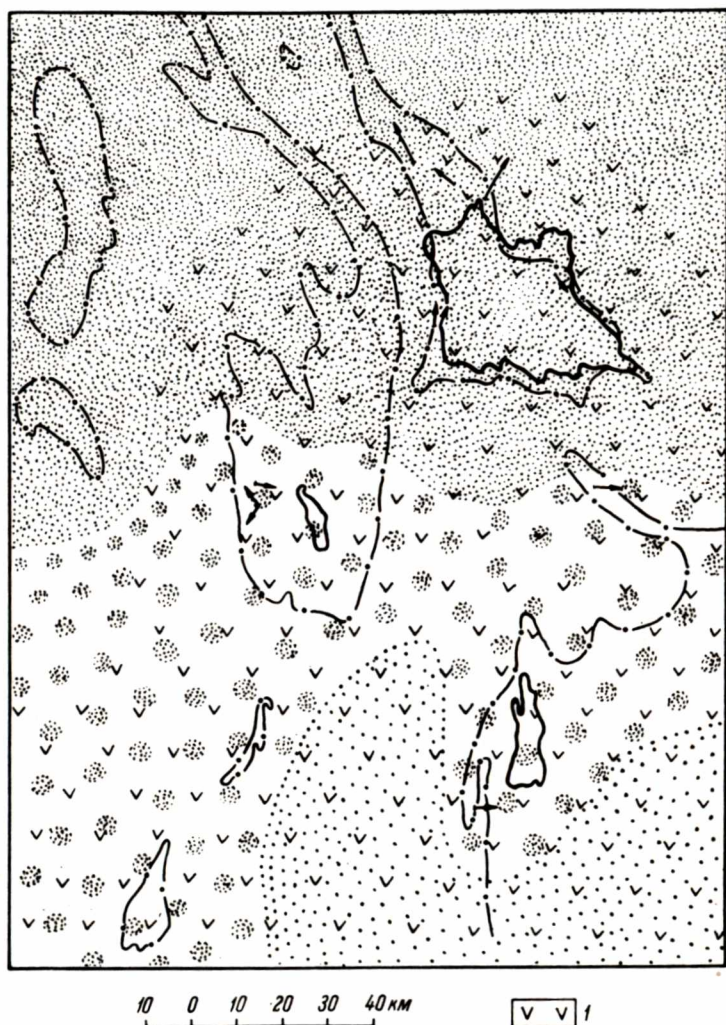


Рис. 9. Палеофациальная схема формирования отложений третьей, четвертой пачек и вулканогенных образований нижнего ятулия.

1 - площади, занятые эффузивными диабазами; остальные обозначения те же, что и на рис. 7.

усматривается регрессивный характер расположения обломочного материала в слоях.

Прибрежная фациальная обстановка, судя по характеру соответствующих отложений, имела место на большей площади южной половины Центральной Карелии, за исключением Центрального Прионежья и гипотетического района, расположенного западнее его (между дер. Костомукса и оз. Пальеозеро). Здесь в кровле осадочных пород нижнего ятулия залегают разнотекстурные песчаники с прослоями гравелитов и конгломератов. Широко распространена мелкая слабо срезанная косая слоистость и ряд других текстурных особенностей, характерных для прибрежных отложений.

Континентальная фациальная обстановка предполагается в юго-восточной части территории на основании данных о направлении сноса обломочного материала в отложениях, наблюдаемых в прилегающих районах. Осадки здесь, по-видимому, не накапливались.

В конце нижнеятулийского времени большая часть Центральной Карелии стала ареной вулканической деятельности (Светов, 1972). В районах г. Медвежьегорска и оз. Янгозеро она привела к формированию последовательно перекрывающих друг друга не менее 3 лавовых потоков (покровов), иногда разделяемых туфогенно-осадочными породами. В других районах установлен только один поток. По распределению на площади количества потоков, по наблюдениям над текстурами течения в эффузивных диабазов в районах г. Медвежьегорска, озер Янгозеро и Сегозеро предполагаются центры излияний, связанные с крупными разломами земной коры.

Севернее и северо-западнее озер Сегозеро и Маслозеро диабазы выклиниваются и далее в северном направлении не наблюдаются.

Осадочные и туфогенные породы, встречающиеся между отдельными потоками (покровами), образовались, судя по их особенностям, в условиях мелководного бассейна с довольно сильными течениями. К аналогичным выводам приводит и изучение внутреннего строения лавовых толщ, текстурно-структурных признаков отдельных потоков (Соколов и др., 1970).

Период формирования отложений осадочной подтолщи среднего ятулия. Для данного периода предполагается существование континентальной и бассейновой фациальных обстановок, причем последняя резко разделяется на бассейновую с терригенным осадконакоплением и бассейновую карбонатную (рис. 10). Прибрежные отложения развиты незначительно и в большей своей части включены в состав континентальных.

Континентальная фациальная обстановка установлена в широкой полосе, разделяющей северо-западную и южную части Центральной Карелии по наличию аплювиальных и озерных отложений, а также участков разрушения, поставивших обломочный материал. Апллю-

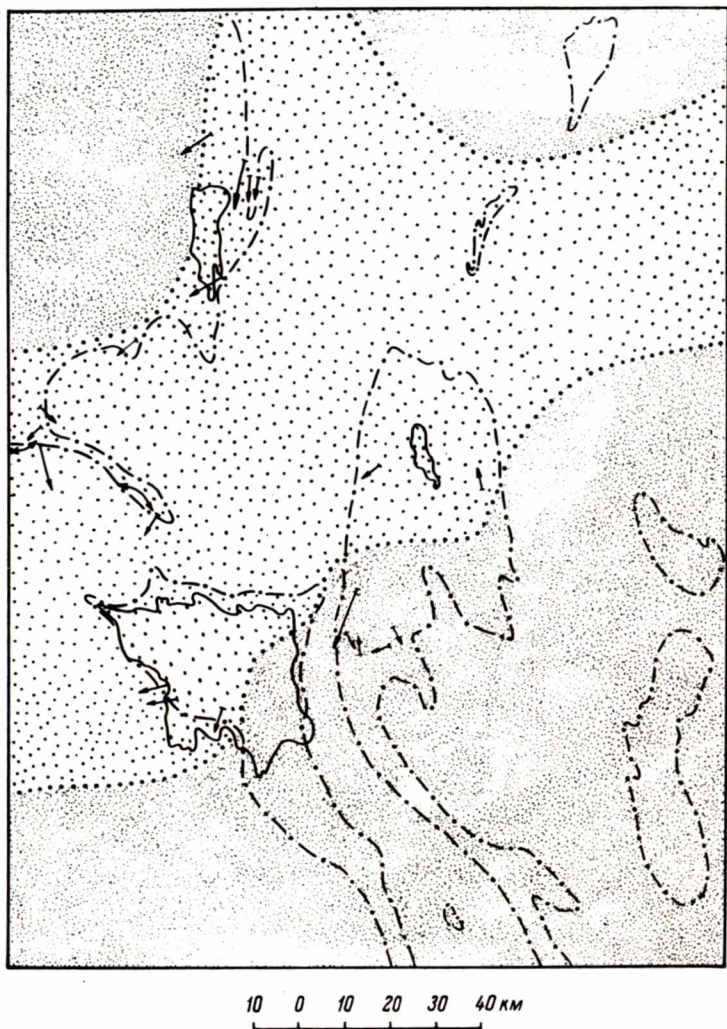


Рис. 10. Палеофациальная схема формирования осадочной подтолщи среднего ятулия.

Условные обозначения те же, что и на рис. 7.

виальные фации прослежены по обнажениям восточного берега оз. Сегозеро, в районе озер Янгозера и Селецкого, около г. Медвежьегорска и пос. Гирвас, р. Ялгамки и др., где выделяются русловые, прирусловые, пойменные и прочие отложения.

Русловые отложения, обычно залегающие с размывом на подстилающих породах, представлены переслаивающимися конгломератами, гравелитами, различными песчаниками. Грубозернистые породы тяготеют к основанию разреза. В них косослоистые серии мощностью 0.1–1.0 м (убывает вверх) имеют параллельные или слабо срезающие границы, или клиновидную форму. Слойки в сериях обычно прямые, параллельные либо выполаживающиеся к основанию. В сериях заметно дифференцирование по грубости – крупнообломочный материал располагается в их нижних частях. Выше по разрезу уменьшается величина обломочного материала, улучшается сортировка, появляется и становится преобладающей косоволнистая и волнисто-мульдообразная косая слоистость. Эти особенности характерны для отложений прирусловой отмели. В обоих типах отложений отмечаются асимметричные знаки ряби течения.

В районе восточного берега оз. Сегозеро выше указанных отложений залегают песчано-алеврито-глинистые породы, сплагающие ритмы 0.8–1.2 м мощности. В подошве ритмов залегают крупно- и среднезернистые песчаники, нередко с карбонатно-слюдистым цементом, косослоистые в мелких параллельных сериях. В кровле располагаются красноцветные алевролиты и глинистые сланцы, количество которых вверх по разрезу увеличивается. На плоскостях напластования наблюдаются трещины усыхания. Эти породы представляют собой пойменные отложения.

Озерные отложения условно выделяются в районе оз. Куйкламби. Они представлены тонкослоистыми сланцами и туфосланцами с прослоями косослоистых и горизонтальнослоистых песчаников в основании, с глинистыми „катунами“ и прослоями, содержащими кремнистые и карбонатно-кремнистые стяжения.

В области распространения континентальной фациальной обстановки помимо указанных групп фаций существовали и стабильные для данного времени участки разрушения. Точное их положение пока не установлено.

Бассейновая фациальная обстановка с терригенным осадконакоплением преобладала в северной части территории. Ее южная граница располагается севернее оз. Янгозеро и на северо-востоке пересекает оз. Сегозеро в средней его части. Здесь развиты преимущественно песчанистые средне- и мелкозернистые отложения мощностью до 100–120 м, часто с небольшим количеством карбоната в цементе. В осадках встречаются горизонтальная, иногда косая, волнистая, мульдообразная и пологоволнистая слоистость. Очевидно, они свидетельствуют об осаждении в бассейне с периодическими течениями.

Бассейновая фациальная обстановка с терригенно-карбонатным осадконакоплением господствовала на территории Прионежья и в районе оз. Суоярви. Здесь выделяются морские и прибрежно-морские группы фаций.

Морские (в целом существенно мелководные) отложения представлены различными доломитами с неясной горизонтальной слоистостью. В их составе нередко отражается воздействие волнения и значительный принос терригенного материала, о чем свидетельствует наличие песчаной примеси в доломитах, прослоев песчаников с карбонатным цементом, глинистых сланцев и седиментогенных сланцевых, реже доломитовых брекчий, количество которых увеличивается в сторону прибрежных частей бассейна. В более спокойных условиях накапливались разноцветные доломиты с толстой горизонтальной слоистостью или неслоистые. Поступление терригенного материала проявилось в появлении прослоев глинистых и песчано-глинистых сланцев и песчаной примеси в доломитах.

В районе оз. Сундозеро в верхней части среднеятулийских отложений установлен (Соколов, Бутин, 1961) пласт водорослевых доломитов мощностью 1-3 м. Строматолиты представлены ветвящимися колонками-столбиками толщиной 0,7-4 см при высоте до 1 м.

Прибрежно-морские фации устанавливаются по кварцито-песчаникам, песчаникам и аркозам с прослоями кварцевых конгломератов, залегающим с размывом на подстилающих породах. В породах часто наблюдается мелкая перекрестная косая слоистость и знаки ряби на плоскостях напластования. Выше эти осадки перекрываются морскими отложениями.

Период формирования отложений осадочно-вулканогенной подтолщи среднего ятулия. В конце предыдущего периода повсеместно отмечается некоторая регрессия, выразившаяся в более интенсивном перемиривании осадков и их грубообломочном характере. В некоторых пунктах (район г. Медвежьегорска, дер. Святнаволок) в это же время появились первые туфогенные и туфовые отложения. Вслед за указанными явлениями в районе озер Чинозеро-Маслозеро-Елмозеро-Сегозеро и юго-восточнее до северо-западного Прионежья началось формирование лавовых толщ (рис. 11).

Имеющиеся сведения о мощностях пласта эффузивных диабазов, распределении на площади количества слагающих его лавовых потоков (покровов), направлениях течения лав, установленных при наблюдениях над текстурами течения, позволяют довольно четко определить положение нескольких центров излияний. Они установлены в районе оз. Чинозеро, северной части оз. Селецкого, между озерами Сегозеро и Елмозеро, в районе г. Медвежьегорска и пос. Гирвас (Светов, 1972). В некоторых случаях имеются предположения о магмоподводящих каналах (интрузии габбро-диабазов севернее



Рис. 11. Палеофациальная схема формирования осадочно-вулканогенной подтолщи среднего ятулия.

1 - область формирования лавовых полей в пределах распространения терригенных отложений („сегозерской серии“); 2 - то же, терригенно-карбонатных отложений („онежской серии“); 3 - область развития пород „онежской серии“ среднего ятулия; остальные обозначения см. на рис. 7.

оз. Сегозеро), в других они не установлены, однако их связь с крупными разломами земной коры несомненна.

Формирование лавовых полей происходило преимущественно в условиях мелководного бассейна, о чем свидетельствуют как текстурно-структурные особенности лавовых потоков, так и характер туфогенных, осадочных и хемогенных кремнистых образований, с которыми они в ряде пунктов переслаиваются. Лишь в северо-западном Прионежье (район г. Медвежьегорск-оз. Пальеозеро) излияния имели наземный характер, и лавовые потоки иногда перемежаются маломощными типично континентальными отложениями. К аналогичному выводу приводит анализ окисленности лав в различных пунктах (Светов, 1972).

Южнее области интенсивных излияний (район Прионежья, оз. Суоярви) и одновременно с ними в условиях мелководного морского бассейна продолжали накапливаться глинистые (с примесью туфового материала) и кремнисто-доломитовые осадки. В химическом составе этих образований дискриминантным анализом довольно отчетливо улавливается влияние синхронного вулканизма соседних областей (Соколов и др., 1971). В отдельных пунктах обнаружены строматолитовые рифовые образования (Соколов, 1963).

В кровле разреза морских отложений развиты глинистые, песчано-глинистые и песчаные породы с прослоями гематитовых руд. Здесь наблюдается тонкая горизонтальная и линзообразная слоистость, знаки ряби и трещины усыхания. После регрессии, проявившейся в накоплении указанных осадков, последовало излияние одного потока лав основного состава, которым в районе Прионежья и Суоярви венчается разрез среднего ятулия.

Период формирования верхнеятулийских отложений. В верхнеятулийское время в пределах Центральной Карелии характер осадкообразования изменялся весьма значительно, однако недостаточное количество материала не позволяет детализировать эти изменения, и фациальные условия накопления рассматриваются в целом.

В начале периода устанавливается довольно быстрое распространение условий мелководного бассейна с севера до района озер Сегозеро-Янгозеро. Здесь накапливались пестрые по составу и разнообразные отложения, соответствующие фациям мелководного бассейна. Развиты преимущественно грубые осадки: гравелиты и крупнозернистые песчаники, залегающие на выветрелой и размытой поверхности диабазов среднего ятулия и содержащие продукты их разрушения. В породах широко развита косая слоистость в мелких параллельных и слабо срезанных сериях. Южнее и юго-восточнее в узкой полосе прослеживаются прибрежные отложения. Пестрый состав от гравелитов до сланцев, ритмичное строение, многочисленные мелкие размывы, разнообразные текстурные особенности этих

образований с несомненностью подтверждают их прибрежное происхождение.

Юго-восточнее рассмотренных районов осадки начала верхне-ятулийского времени не установлены. Здесь располагалась разрушавшаяся суша. В более поздние моменты верхнеятулийского времени граница между районами с мелководными и прибрежными условиями перемещалась к юго-востоку. Аналогичные отмеченным выше мелководные условия появились позднее и в южной части Центральной Карелии.

Позднее почти на всей рассматриваемой площади происходило накопление существенно карбонатных пород в морских сравнительно мелководных условиях. Здесь также наблюдаются значительные вариации в фациальных условиях, заключавшиеся в накоплении песчаных, глинистых, известняковых и доломитовых пород.

Г л а в а 2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ

Методы синтеза моделей типа „процесс-отклик” (Whitten, 1964; Krumbein et al., 1969) в применении к осадконакоплению получили свое развитие начиная с работ А.Б. Вистелиуса (1945, 1946, 1948, 1949а, 1949б, 1961, 1963а, 1963б), посвященных анализу накопления карбонатных отложений папезойского возраста. Дальнейшие разработки и применения аналогичных методов в литологических исследованиях связаны с анализом формирования карбонатно-сланцевых толщ в Северной Ирландии (Schwarzacher, 1964) и ятулийских (средний протерозой) терригенных образований Карелии (Хейсканен, 1964, 1968, 1971). В настоящее время по вопросам применения в литологии указанных методов существует довольно обширная литература (Davis, 1954; Anderson, Koopmans, 1963; Fox, 1965; Jackson, 1965; Fox, Brown, 1965; Carss, Neidell, 1966; Merriam, Sneath, 1967, и др.).

Особое место среди моделей осадконакопления занимает класс моделей, описывающих накопление ритмичных слоистых отложений — турбидитов, сформированных мутьевыми потоками (Kuenen, 1959). Основные результаты в этом направлении получены А.Б. Вистелиусом (1949а, 1949б, 1966) и А.Н. Колмогоровым (1949), некоторые теоретические и прикладные аспекты моделей обсуждаются в ряде других работ (Hinze, 1960; Potter, Blakely, 1967; Ривлина, 1968; Романовский, 1971, 1972, и др.). Данный класс моделей можно считать достаточно разработанным, поэтому нет необходимости детально рассматривать его здесь, хотя он и входит в один из выделяемых типов процессов седиментации.

С вероятностной точки зрения процессы осадконакопления относятся к категории случайных процессов (Вистелиус, 1963а, 1963б) и, следовательно, могут быть представлены в виде случайных функций координат точки пространства и времени, описывающих распределение параметров (физических и химических свойств, структур, текстур и т.д.) накапливающихся осадков по латерали и вертикали (времени). По-видимому, можно сказать, что существует некоторый природный „механизм“, который каждой комбинации природных факторов седиментогенеза (космических, климатических, тектонических и пр.) ставит в соответствие определенную, в вероятностном смысле, совокупность параметров образующегося осадка. По аналогии с понятиями теории автоматического регулирования (Солодовников, 1960) такой механизм может быть назван динамической системой, т.е. системой, состояние которой изменяется под влиянием внешних воздействий (Пугачев, 1962).

Математический выраженный закон, согласно которому с определенными входными возмущениями, факторами осадкообразования, связываются определенные выходные переменные, параметры осадка, называется оператором динамической системы. Оператор является наиболее общей характеристикой системы, поэтому задача синтеза, т.е. создания модели динамической системы осадкообразования, считается решенной, если найден ее оператор или однозначно определяющие его характеристики системы. Если же эта задача решена, то по крайней мере частично будет решена и обратная задача: восстановление комплекса факторов осадкообразования и, следовательно, расшифровка условий образования осадка. Однако решение такой задачи во всей ее полноте пока не представляется возможным. Первоначальная стадия изучения природных динамических систем должна иметь дело с упрощенными, схематизированными моделями, построенными на основе ряда допущений.

1. В реальных условиях массовый числовой материал легче всего получить только по одной характеристике осадка в непрерывных разрезах осадочных пород. В связи с этим отказ от построения многомерной и переход к построению одномерных моделей является весьма существенным упрощением задачи синтеза. Разумеется, это сильно сужает круг решаемых вопросов при расшифровке условий образования осадка, но пример анализа одномерной динамической системы (Вистелиус, 1963а, 1963б), ответственной за распределение пористости в палеозойских карбонатных толщах, свидетельствует о том, что одномерные модели могут быть мощным орудием изучения процессов осадконакопления.

2. Процедура построения модели значительно упрощается, если случайные функции, являющиеся выходными переменными, имеют нормальное распределение. Наилучшая ситуация складывается, когда закон совместного распределения значений функции в любое число моментов времени соответствует нормальному.

3. В большинстве случаев можно считать, что совместный эффект нескольких однородных воздействий на формирование параметра осадка равен сумме эффектов отдельных воздействий. Тогда множество возможных операторов динамической системы сводится к классу линейных операторов, для которых справедлив изложенный принцип суперпозиции.

4. Развитие процессов осадконакопления в достаточно длительные периоды истории Земли в основном не обнаруживает систематического поступательного изменения, за исключением некоторых явлений, т.е. можно говорить о стационарных в общем процессах, тем более что эволюционная составляющая может быть исключена специальными (регрессионными) методами. Ограниченность вариаций в процессах осадконакопления, по крайней мере при постоянных фациальных условиях, свидетельствует в пользу их эргодичности. Наличие таких свойств у эмпирических данных расширяет методические возможности, позволяя изучать структуру процесса по его единственной реализации.

Условия 3 и 4 определенным образом связаны: любая линейная динамическая система является стационарной. В качестве первого приближения перечисленные условия могут быть приняты и для неответчающей им системы (Пугачев, 1962).

Таким образом, первым шагом на пути моделирования динамических систем осадконакопления может быть синтез одномерной линейной стационарной динамической системы с выходной переменной, удовлетворяющей требованиям эргодичности и нормальности распределения. Используя приведенную терминологию, задачу настоящей работы можно сформулировать следующим образом. Деятельность некоторой природной динамической системы в каждом пункте исследуемого района запечатлена в виде определенной последовательности слоев различного состава, которые рассматриваются в качестве реализации геологического случайного процесса, наблюдающегося на выходе данной системы. Путем анализа этой выходной переменной требуется получить математическую модель динамической системы и использовать ее для восстановления условий осадкообразования.

Выбор параметра осадка и требования к структуре процесса

Единственная выходная переменная, особенности распределения которой в исследуемых разрезах определяют искомый оператор системы, должна по возможности представлять собой легко определяемый параметр осадка, несущий максимум информации

о процессе осадконакопления и наименее подверженный изменениям при фоссилизации изучаемых отложений. Для изучения процессов ятулийского осадконакопления в качестве такого параметра были выбраны полевые определения среднего размера зерен осадка в виде обычной литологической шкалы грубости (алевролит, тонко-, мелко-, средне-, крупно- и грубозернистый песчаник и т.д.) для терригенных пород и содержание нерастворимого остатка – для карбонатных. В условиях слабого метаморфизма ятулийских толщ, не превосходящего фаций зеленых сланцев, эти характеристики, как показал опыт многолетних исследований, претерпели незначительные изменения (Соколов и др., 1970).

При проведении полевых работ производилось детальное сплошное описание разрезов ятулийских образований, расположенных по возможности равномерно на всей территории. В ряде разрезов фиксировались все изменения гранулометрического состава пород, видимые на глаз, в интервалах, превышающих 1 см по мощности. Определение видимого среднего размера зерен (сильно смещенная оценка, если сравнивать с данными по шлифам) контролировалось простейшими измерительными средствами.

Вопрос о виде закона распределения принятых параметров осадка в достаточной мере сложен. Как было показано автором (Heiskanen, 1972), при осаждении взвешенных в водном потоке обломочных частиц плотность распределения их гидравлической крупности может аппроксимироваться выражением вида

$$f(c) = k \frac{c^2}{D} \frac{e^{-\frac{t}{D} c^2}}{1 - e^{-\frac{H}{D} c}} \omega(c, D), \quad (1)$$

где c – гидравлическая крупность частиц осадка, измеряемая скоростью ее падения в водной среде; D – коэффициент турбулентной диффузии; t – время с начала осаждения; H – глубина потока; $\omega(c, D)$ – функция, описывающая процесс размыва и распределение гидравлической крупности источника обломочного материала; k – нормирующий множитель.

Легко заметить, что приведенная плотность не соответствует ни одному из известных законов распределения, тем более что следует еще учитывать сложный вид зависимости между гидравлической крупностью и величиной частиц (Саркисян, 1958). Анализ показывает, что плотность (1) описывает одновершинное распределение, обладающее некоторой положительной асимметрией, которое может аппроксимироваться логарифмически нормальным законом. Если, кроме того, учесть существующие указания на логарифмически нормальный закон распределения частиц, получаемых при дроблении (Bennett, 1936; Колмогоров, 1941), и богатый опыт изучения гра-

нупометрии осадков в литологии (Pettijohn, 1957; Рухин, 1937, 1959, и др.), то вывод о логарифмически нормальном законе распределения крупности частиц осадка кажется вполне оправданным. В этом случае логарифмы размера зерен будут иметь нормальное распределение, тем более что наблюдаемая средняя грубость терригенной породы является результатом произвольного усреднения видимых величин.

Для того чтобы еще более приблизить наблюдаемые величины среднего размера зерен к нормальному распределению, была разработана несложная процедура. В частности, на основании данных по наиболее полным типичным разрезам изучаемой осадочной толщи строилась эмпирическая функция распределения средней зернистости пород, аргументом которой являются качественно определяемые литологические типы пород: сланец, алевролит, песчаник, гравелит, конгломерат и их разновидности. В дальнейшем эмпирическая функция распределения ставилась в соответствие с функцией распределения нормального закона, численные величины аргументов которой присваивались типам пород после некоторого линейного преобразования, приводящего их к виду целых чисел. Полученные величины, называемые для краткости средней грубостью пород, в силу описанной процедуры имеют нормальное распределение. В связи с некоторыми различиями в строении разрезов осадочных толщ нижнего, среднего и верхнего ятулия в табл. 2 приведены различные величины средней грубости для одних и тех же типов пород.

Для различных стратиграфических единиц ятулия полученные величины сильно отличаются, но это не влияет на результаты, так как задача совместного анализа разновозрастных толщ перед работой не ставилась.

Присвоив каждому интервалу исследованных разрезов соответствующие числа, мы получаем для каждого разреза кривую средней грубости. Для упрощения дальнейшего анализа данные кривые усредняются в равных интервалах, как правило, не превышающих максимальной мощности одного слоя, после чего они используются в качестве реализаций выходной переменной анализируемой динамической системы осадконакопления. Дополнительное усреднение в равных интервалах еще более улучшает нормальность и, кроме того, допускает компактное представление реализаций в виде числовых рядов, не связанное с существенной потерей информации.

Распределение величин нерастворимого остатка в терригенно-карбонатных толщах в достаточной мере близко к нормальному, поэтому для получения кривых нерастворимого остатка операция усреднения в равных интервалах применялась непосредственно к этим величинам.

Для того чтобы иметь возможность в полной мере применить к исследованию случайного процесса наиболее развитые методы

Таблица 2

Величины средней грубости ятулийских терригенных пород

Подот- делы ятулия	Сла- нец	Алев- ролит	Песчаник					Гравелит		Конгломерат		
			тон- ко- зер- нис- тый	мел- ко- зер- нис- тый	сред- не- зер- нис- тый	круп- но- зер- нис- тый	гру- бо- зер- нис- тый	мел- кий	круп- ный	мел- кий	сред- ний	круп- ный
Нижний	-28	-24	-20	-16	-2	8	9	11	12	15	20	29
Средний	-14	-10	-8	-5	-2	1	4	7	9	12	15	-
Верхний	-47	-41	-35	-30	0	23	35	47	-	-	-	-

теории случайных функций, необходимо выяснить некоторые свойства этого процесса.¹ В частности, чтобы анализировать процесс по одной его реализации, необходимо убедиться, что он отвечает требованиям стационарности и эргодичности.

Как известно, случайная функция $X(t)$ называется стационарной в широком смысле, если ее математическое ожидание постоянно, а корреляционная функция $K_X(t, t')$ не зависит от моментов времени t и t' и полностью определяется их разностью:

$$K_X(t, t') = K_X(\tau), \quad \tau = t - t'. \quad (2)$$

Отсюда вытекает приближенный способ проверки стационарности случайной функции: необходимо разбить ее реализацию на несколько частей и сравнить рассчитанные по этим частям оценки математического ожидания и корреляционной функции. Для ятупийских толщ соответствующий анализ показывает, что расхождения между указанными характеристиками в одних и тех же разрезах в целом незначительны. Следовательно, используемые для дальнейшего исследования кривые параметров осадков удовлетворяют требованиям стационарности в пределах требуемой точности.

Аналогичный вывод вытекает из чисто геологических рассуждений: колебания величины выбранных характеристик осадков ограничены естественными пределами, что обеспечивает их стационарность в достаточно протяженные отрезки времени.

Для проверки эргодичности стационарной случайной функции по отношению к корреляционной функции и математическому ожиданию используется достаточное условие: при неограниченном увеличении аргумента корреляционная функция должна убывать по модулю. Для некоторых разрезов (рис. 18, 23) это требование не выполняется в связи с недостаточной длиной реализации, тем не менее все они в целом принимаются удовлетворяющими и этому условию.

Приближенность и принятые допущения в проверке стационарности и эргодичности оправдываются тем, что применяемые ниже регрессионный и спектральный анализы пригодны для изучения и некоторых нестационарных процессов. В частности, с их помощью возможно изучение процессов, являющихся функционалами от случайных и детерминированных функций вида (Бунимович, 1951)

¹ Понятия и терминология теории случайных функций пока не имеют широкого распространения в геологической литературе, поэтому автор вынужден давать некоторые определения, не претендующие на исчерпывающую полноту. Основное внимание уделяется их геологической интерпретации, определяющей „понятийную базу“ (Воронин, 1967) модели.

$$Y(t) = \Psi[\xi(t), f(t)], \quad (3)$$

где Ψ — некоторая функция; $\xi(t)$ — случайный процесс; $f(t)$ — периодическая или почти периодическая функция.

Возможные типы процессов²

Класс нормальных стационарных эргодических случайных процессов является обширной областью, в которой может быть выбрано большое количество разнообразных моделей, имеющих геологическое значение. Ниже рассматриваются типы моделей, соответствующие различным возможным в данном конкретном случае геологическим ситуациям. Математический аппарат, применяемый для этих типов, содержится в известных руководствах М.С. Бартлетта (1958), В.С. Пугачева (1962), Э. Хеннана (1964) и в работах автора (Хейсканен, 1964; 1968, 1971; Heiskanen, 1971).

Процесс „белый шум“. Пусть область седиментации испытывает неупорядоченное воздействие различных факторов осадконакопления, которые можно представить как большое количество беспорядочно следующих друг за другом некоррелированных импульсных возмущений. В разрезе образующихся при этом осадков, очевидно, будет полностью отсутствовать какая-либо закономерность в строении и мощностях слоев. Наилучшей моделью такого осадконакопления является процесс „белый шум“, получивший свое название за то, что в его спектре аналогично белому свету и шуму с одинаковой интенсивностью присутствуют колебания любых частот. Диагностика такого процесса крайне проста. Если наблюдаемый процесс соответствует последовательности некоррелированных случайных величин $\varepsilon(t)$, т.е. можно записать

$$X(t) = k\varepsilon(t), \quad (4)$$

а для величин $\varepsilon(t)$ соблюдаются требования:

$$M[\varepsilon(t)] = 0, \quad M[\varepsilon(t_i)\varepsilon(t_j)] = 0, \quad i \neq j,$$

² Термин „процесс“ лучше отражает геологическое существо явлений, поэтому он используется ниже в равной мере для обозначения процессов с непрерывным временем и для случайных последовательностей (процессов с дискретным временем) или рядов.

то процесс идентичен „белому шуму” с дисперсией

$$D = \sigma^2 = k^2 M[\varepsilon(t)]^2.$$

$M[Y]$ – всюду обозначает операцию нахождения математического ожидания.

В спектре частот процесса типа „белый шум” с одинаковой интенсивностью присутствуют все частоты (рис. 12), т.е. спектральная плотность его является постоянной величиной, не зависящей от частоты ω :

$$S_x(\omega) = s_0.$$

В этом случае для корреляционной функции обращением по Фурье получаем следующее выражение:

$$K_x(\tau) = s_0 \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega\tau} d\omega = 2\pi s_0 \delta(\tau),$$

где $\delta(\tau)$ – импульсная дельта-функция. Иначе можно записать

$$K_x(\tau) = \begin{cases} 0 & , \tau \neq 0 \\ 2\pi s_0 = \sigma^2 & , \tau = 0 \end{cases}.$$

Таким образом, корреляционная функция и спектральная плотность процесса „белый шум” имеют ярко выраженные особенности (рис. 12). Первая отлична от нуля только в начале координат, вторая – постоянна на всей области определения.

Процесс скользящих средних. Пусть, как и прежде, внутреннее состояние динамической системы осадконакопления характеризуется действием чисто случайных причин. Предположим еще, что эти причины меняются не так быстро, как в предыдущем случае, а осу-

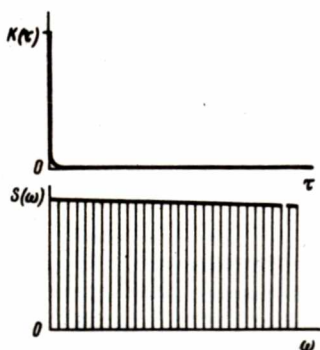


Рис. 12. Корреляционная функция и спектральная плотность процесса типа „белый шум”.

шествуют свое влияние на образование осадка в течение некоторых соизмеримых промежутков времени так, что для каждого момента времени количество их более или менее постоянно, и от одного отрезка времени к другому часть их прекращает свою деятельность, уступая место другим. Образующийся осадок, является, следовательно, продуктом скользящего усреднения упомянутых гипотетических причин. Такие усреднение характеристик осадка в природе, по-видимому, возможно также в процессе транспортировки и переотложения осадочного материала.

Пусть в момент времени t вступает в действие некоторый фактор U_t , контролирующий работу системы осадкообразования, взамен „выбывающего“ U_{t-j-1} . В этот же момент продолжают действовать еще j факторов U_{t-j} . Если принять интенсивности воздействий θ_{t-j} , а соответствующие „доли“ параметра образующегося осадка $\alpha_j \theta_{t-j}$, то „полная“ величина этого параметра для момента времени t определяется как

$$X(t) = \sum_{j=0}^q \alpha_j \theta_{t-j}. \quad (5)$$

Корреляционная функция этого процесса характеризуется более или менее правильным (в зависимости от соотношения коэффициентов α_j между собой) линейным убыванием до нуля при аргументе, равном интервалу осреднения q . Если принять все $\alpha_j (0 \leq j \leq q)$ равными, то корреляционная функция будет иметь вид

$$K_x(\tau) = \begin{cases} \sigma^2(1 - \frac{\tau}{q}), & 0 \leq \tau \leq q, \\ 0, & \tau > q. \end{cases}$$

В этом случае спектральная плотность процесса (5) имеет довольно специфический вид (рис. 13):

$$S_x(\omega) = \frac{2}{\pi q \omega^2} (1 - \cos \omega q).$$

Ее абсолютный максимум при $\omega = 0$ составляет $S_x(\omega) = q\sigma^2/\pi$, а последующие, расположенные в точках $\omega = 3\pi/q, 5\pi/q, 7\pi/q \dots$ составляют 0.045, 0.016, 0.008, 0.005 и т.д. от его величины. В точках $\omega = 2\pi/q, 4\pi/q, 6\pi/q, \dots$ спектральная плотность имеет нулевые минимумы.

Как можно заметить, в данном случае решение вопроса о сходстве или различии анализируемой последовательности с процессом указанного типа не представляет затруднений. Но в некоторых случаях диагностика процесса скользящих средних усложняется. Если предположить наличие в изучаемом районе не одной, а двух

(Вистелиус, 1961) или более разобренных областей сноса, обнаруживающих более или менее упорядоченное в смысле очередности влияние на образование осадка в области накопления, это приведет к появлению устойчивых осцилляций изучаемого параметра в толще осадка с периодом, соответствующим очередности максимального участия каждой из областей сноса в формировании осадка. Такая

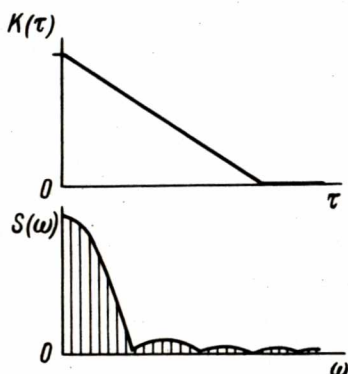


Рис. 13. Корреляционная функция и спектральная плотность процесса типа скользящего среднего.

всех реализаций анализируемого процесса, распределенных на значительной территории, во втором, по-видимому, дают возможность избежать ошибок при выборе рассматриваемого типа процесса в качестве модели.

Процесс (конечной) авторегрессии. В ряде случаев можно предполагать, что процесс осадконакопления в данный момент времени t с той или иной точностью определяется состоянием системы осадкообразования в один или несколько предшествующих моментов времени ($t-j$). Например, крутизна эродируемого склона, контролирующая величину образующихся при разрушении обломков, в каждый момент времени зависит от величины ее в предшествующие моменты. Эта зависимость может быть запечатлена в разрезе осадков.

же периодичность появится в корреляционной функции и приведет к образованию пиков на высоких частотах спектральной плотности процесса.

Другим обстоятельством, которое может поставить под сомнение возможность точной диагностики процесса скользящих средних, является доказанная Е.Е. Слуцким (1927) способность коррелированных случайных последовательностей, в том числе и образованных скользящим суммированием взаимно независимых случайных величин, давать реализации, сходные с гармоническими функциями.

Значимые пики спектральной плотности на высоких частотах в первом случае, и совместный анализ

В математике подобные процессы известны под названием марковских процессов или цепей. Для сложных марковских цепей справедливо соотношение авторегрессии

$$\sum_{j=0}^p \beta_j x_{t-j} = \varepsilon_t, \quad (6)$$

порождающее наблюдаемый процесс x_t . Здесь ε_t — последовательность некоррелированных случайных величин. При $j=1$ уравнение (6) задает простую марковскую цепь, или авторегрессию первого

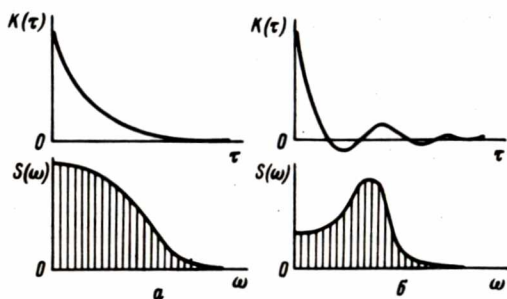


Рис. 14. Корреляционная функция и спектральная плотность авторегрессионных процессов общего вида (а) и осциллирующего (б).

порядка; $j > 1$ соответствует сложной марковской цепи, или авторегрессии более высокого порядка. Специфические особенности корреляционной функции и спектральной плотности этого процесса и здесь позволяют более или менее уверенно обнаруживать его черты в исследуемых реализациях. Например, при $p=1$ коэффициенты корреляции нормированной корреляционной функции образуют степенной ряд (рис. 14):

$$\kappa_x(\tau)/\sigma^2 = \rho_\tau = \rho^{|\tau|}, \quad \rho = -\beta_1/\rho_0.$$

При $p=2$ и $\beta_0\beta_2 \geq \beta_1^2/4$ коррелограм (последовательность значений нормированной корреляционной функции) представляет собой затухающую синусоиду (рис. 14), которую можно представить в виде

$$K_x(\tau) = \sigma^2 \exp[-\alpha|\tau|] \cos \beta\tau. \quad (7)$$

Обращение по Фурье этого выражения дает спектральную плотность

$$S_x(\omega) = \frac{\alpha\sigma^2}{\pi} \frac{\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2}{(\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2)^2 + 4\alpha^2\beta^2}, \quad (8)$$

которая при $\alpha^2 \geq 3\beta^2$ для $\omega = 0$ имеет максимум (рис. 14) или при $\alpha^2 < 3\beta^2$ для $\omega = 0$ — минимум, а максимум смещается в точку

$$\omega_0 = \sqrt[4]{\alpha^2 + \beta^2} \sqrt{2\sqrt{\beta^2 - \alpha^2} + \beta^2}.$$

Таким образом, корреляционная функция, особенно для простого марковского процесса, имеет довольно характерные особенности, позволяющие остановить выбор на авторегрессионной модели, когда эмпирические данные дают коррелограммы соответствующего вида. Спектральная плотность с одним пологим максимумом типа (8) почти всегда (Хеннан, 1964) указывает на необходимость использования авторегрессионной схемы.

До сих пор подчеркивалось, что общий вид и особенности графиков корреляционной функции и спектральной плотности какого-либо случайного процесса дают возможность выбрать определенный стандартный тип процесса в качестве модели. В связи с этим могло создаться впечатление, что как природные процессы, так и соответствующие модели резко отличаются друг от друга. Однако это не так, природные процессы, будучи гораздо более многообразными, чем предлагаемые стандартные типы, имеют непрерывный ряд взаимных переходов, которые частично могут быть отражены рассматриваемыми моделями.

Возьмем за основу процесс авторегрессии второго порядка с корреляционной функцией (7) и спектральной плотностью (8) и рассмотрим его эволюции при различных условиях.

1. Периодичность процесса (6) постепенно затухает случайной компонентой, связи между значениями процесса ослабевают и исчезают, что выражается в следующих допущениях:

$$\beta = \text{const}, \quad \alpha \rightarrow \infty,$$

ведущих к

$$K_x(\tau) \rightarrow \sigma^2 \delta(\tau), \quad \delta(\tau) = \begin{cases} 1, & \tau = 0 \\ 0, & \tau \neq 0 \end{cases}.$$

Спектральная плотность стремится к постоянной, процесс вырождается в „белый шум“.

2. Значения авторегрессионного процесса можно представить как скользящее среднее по бесконечному интервалу. Если затем перейти к конечному интервалу, то получим процесс скользящего среднего. При уменьшении интервала усреднения до единичного процесс вновь вырождается в последовательность некоррелированных случайных величин типа „белого шума“.

3. Природные процессы могут содержать поступательно развивающуюся компоненту. Пусть это будет линейная функция времени

$$X(t) = At + \varepsilon_t.$$

Корреляционная функция такого процесса будет постоянной:

$$K(\tau) = \sigma^2 \rho,$$

а спектральная плотность — отличной от нуля лишь в начале координат:

$$S(\omega) = 2\pi\sigma^2\delta(\omega).$$

Следовательно, наличие линейного тренда в эмпирических реализациях приводит к существенному скачку спектральной плотности в начале координат.

4. Если в авторегрессионном процессе все более четко проявляется периодичность, что соответствует $\alpha \rightarrow 0$ в выражении (7), то мы приходим к гармоническому процессу со спектральной плотностью, имеющей растущий максимум при $\omega = \beta$ и стремящейся к виду дельта-функции. Рассмотрим этот случай подробнее.

Гармонический процесс. Пусть корреляционная функция авторегрессионного процесса второго порядка выражается формулой

$$K_X(\tau) = \sigma^2 e^{-\alpha|\tau|} \left(\cos \beta|\tau| - \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta|\tau| \right),$$

приводящей к спектральной плотности вида

$$S_X(\omega) = \frac{2\sigma^2}{\pi} \frac{\omega^2}{(\omega^2 + \alpha^2 - \beta^2)^2 + 4\alpha^2\beta^2}.$$

Если процесс эволюционирует в сторону все более четкой периодичности (рис.15), т.е. $\alpha \rightarrow 0$, то

$$K_X(\tau) \rightarrow \sigma^2 \cos \beta\tau, \quad S_X(\omega) \rightarrow \frac{2\sigma^2}{\pi} \delta(\omega - \beta).$$

В более общем случае процесса, представляющего собой сумму случайных колебаний

$$x(t) = \sum_j z_j \exp(i\omega_j t),$$

имеем дискретный спектр с ординатами в точках ω_j , равными

$$s_j = M[|z_j|^2],$$

которые характеризуют разложение дисперсии процесса по частотам слагающих его гармоник:

$$\sum s_j = \sigma^2.$$

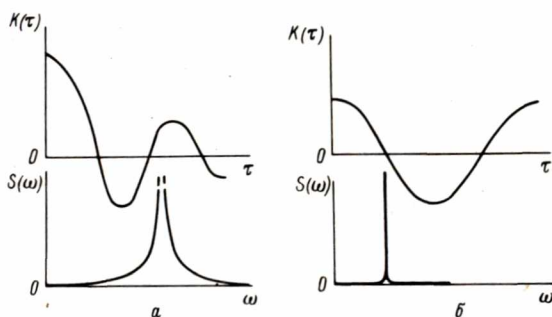


Рис. 15. Корреляционная функция и спектральная плотность гармонических процессов: затухающего (а) и детерминированного (б).

Корреляционная функция здесь также является суммой гармоник. Если процесс не случаен (детерминированный или сингулярный, по Гихману и Скороходу, 1965), то все экстремумы нормированной корреляционной функции по абсолютной величине равны единице, а ординаты спектральной плотности суть квадраты амплитуд соответствующих гармоник. Если же процесс недетерминированный (регулярный), то значения экстремумов корреляционной функции будут убывать по модулю с ростом аргумента.

Изложенные особенности типов случайных процессов позволяют обоснованно выбрать наиболее подходящий из них в качестве модели, оперируя эмпирическими корреляционными функциями и

спектральными плотностями. Необходимо при этом учитывать, что в природе, по всей вероятности, крайне редко будут встречаться процессы, идентичные выделенным типам. В общем случае следует ожидать, что анализируемые реализации процесса осадконакопления будут продуктом суперпозиции нескольких схем механизма седиментации, а эмпирические корелограммы и спектры будут обладать особенностями, характерными для нескольких типов процесса. В этих условиях выбор подходящей модели заключается в подборе такого прототипа среди стандартных процессов, который наилучшим (скажем, в смысле минимума среднеквадратической ошибки) способом аппроксимирует особенности эмпирических реализаций. Продуктивной может оказаться также аппроксимация природного процесса линейной комбинацией нескольких типов.

Элементы оценки параметров моделей

Для выбора типа модели изложенных выше теоретических сведений вполне достаточно, но для конкретного ее построения необходимы дополнительные сведения. Вопросы построения моделей при этом близки задаче обнаружения сигнала в присутствии помех (Пугачев, 1962).

Существуют некоторые объективные трудности в подборе моделей. Дело прежде всего в том, что в реальных условиях мощности исследуемых разрезов, а следовательно, и длины реализаций конечны и подчас весьма невелики. Это влияет на достоверность основных орудий анализа: эмпирические корреляционную функцию и спектральную плотность. Для корреляционной функции уменьшение длины реализации приводит к расширению доверительных интервалов, а для спектральной плотности — к сглаживанию всех ее особенностей (Харкевич, 1957) и прежде всего пиков, которые могли бы свидетельствовать о наличии гармонических составляющих. Единственный путь для преодоления этих трудностей заключается в необходимости использовать разрезы достаточной общей мощности.

Оценка параметров моделей типа „белого шума” и скользящего среднего не представляет большого труда. Для первого из них единственным параметром процесса является его дисперсия, определяющая интенсивность „белого шума”, для второго — кроме дисперсии параметрами являются интервал осреднения и веса определяемых членов ряда (5). Интервал осреднения определяется с помощью корреляционной функции или спектральной плотности. Определение среднего веса в случае близости их величин, о чем можно судить по степени линейности корелограмма, при известном интер-

вале осреднения не представляет труда. Наибольшая работа предстоит для оценки параметров авторегрессионной и полигармонической моделей.

Основное соотношение авторегрессии (6) удобнее представить в форме

$$X_t = \sum_{i=1}^p a_i X_{t-i} + \varepsilon_t \quad (9)$$

или в операторном виде

$$H_t X_t \equiv X_t - a_1 X_{t-1} - \dots - a_p X_{t-p} = \varepsilon_t, \quad (10)$$

где p - порядок авторегрессии; a_i - коэффициенты авторегрессии; ε_t - некоррелированные случайные величины; X_t - значения, принимаемые процессом в моменты времени t . Оценка неизвестных коэффициентов авторегрессии производится следующим образом (Бартлетт, 1958).

Для авторегрессии первого порядка

$$X_t = a_1 X_{t-1} + \varepsilon_t$$

оценка a_1 методом максимума правдоподобия равна

$$\hat{a}_1 = r_1,$$

т.е. первому коэффициенту корреляции в ряду значений эмпирической нормированной корреляционной функции. Значимость этой оценки проверяется с помощью асимптотического соотношения для ее стандартного отклонения

$$\sigma_{\hat{a}_1} \sim \sqrt{(1-a^2)/n},$$

где n - количество членов анализируемого ряда. Теоретический коррелограм строится в соответствии с выражением

$$K_X(\tau) = \sigma^2 r_1^\tau.$$

Авторегрессия второго порядка задается соотношением

$$X_t = a_1 X_{t-1} + a_2 X_{t-2} + \varepsilon_t.$$

Здесь a_1 и a_2 связаны с коэффициентами корреляции уравнениями

$$\rho_s = a_1 \rho_{s-1} + a_2 \rho_{s-2}, \quad s > 0, \quad (11)$$

где ρ_s — s -й по счету коэффициент корреляции ряда. Метод наименьших квадратов дает оценки

$$\hat{a}_1 = \frac{r_1(1-r_2^2)}{1-r_1^2}, \quad \hat{a}_2 = \frac{r_2-r_1^2}{1-r_1^2},$$

дисперсии которых асимптотически равны:

$$\sigma_{\hat{a}_1}^2 \approx \sigma_{\hat{a}_2}^2 \approx \frac{1-a_2^2}{n}.$$

Последнее дает возможность определить значимость коэффициентов авторегрессии. Теоретический коррелограм, необходимый для сравнения с эмпирическим, отыскивается последовательным применением соотношения (11) при $s = 3, 4, \dots$

Коэффициенты авторегрессии более высокого ($p > 2$) порядка можно находить, используя соотношение типа (11):

$$\rho_s = \sum_{i=0}^p a_i \rho_{s-i}, \quad s > 0. \quad (12)$$

Поскольку при этом приходится решать систему уравнений p -го порядка, лучше воспользоваться способом последовательного определения констант авторегрессии, который заключается в следующем.

Из (10) следует равенство, аналогичное (12):

$$h_t r_t = 0, \quad t = 1, \dots, p,$$

где h_t — оператор H_t после подстановки оценок неизвестных параметров. Зная a_i ($i = 1, \dots, p$), найденные через r_1, \dots, r_p при $t = 1, \dots, p$, можно определить

$$\hat{a}'_{p+1} = \frac{(h_t r_t)_{t=p+1}}{(h_t r_t)_{t=0}}.$$

При гипотезе авторегрессии порядка p математическое ожидание $(p+1)$ -го коэффициента авторегрессии асимптотически стремится к нулю:

$$M[\hat{a}'_{p+1}] \approx 0, \quad \sigma_{\hat{a}'_{p+1}}^2 \approx \frac{1}{n},$$

что дает простой асимптотический критерий значимости для нового коэффициента авторегрессии. Если \hat{a}'_{p+1} значимо отличается от нуля, то необходимо исправить значения \hat{a}_i ($i = 1, \dots, p$) для получения коэффициентов авторегрессии порядка $(p+1)$:

$$\hat{a}'_i = \hat{a}_i - \hat{a}'_{p+1} \hat{a}_{p-i+1} .$$

Теоретический коррелограм строится в соответствии с соотношением (12).

Таким образом последовательно отыскиваются константы авторегрессии все более высокого порядка. Если при каком-то $p = k$ дальнейшие оценки коэффициентов не будут значимо отличаться от нуля, анализ следует прекратить, приняв авторегрессию k -го порядка в качестве модели. Этот вывод можно проверить с помощью величины

$$B = -(n-q) \ln \frac{\Sigma_2}{\Sigma'_1} ,$$

которая распределена по закону χ^2 с $q-p$ степенями свободы при гипотезе авторегрессии порядка p ($p < q$). Здесь Σ_i - суммы квадратов „остатков“ от аппроксимации эмпирических реализаций соотношениями типа (9), причем штрих при первой сумме означает, что суммируются в обоих случаях последние $(n-q)$ остатков.

Построение гармонической модели обычно начинается с проверки тем или иным способом достоверности наличия гармонической компоненты. Из всего многообразия известных методов наиболее простой предложен М.Г. Серебренниковым и А.А. Первозванским (1965), в котором для проверки значимости отклонения ординат эмпирической спектральной плотности от спектра „белого шума“ (нулевая гипотеза заключается в предположении отсутствия выделяющихся гармоник) используется величина

$$s_k = \frac{s_x(\omega_k)}{\sum_{k=1}^N s_x(\omega_k)} , \quad (13)$$

где $s_x(\omega)$ - последовательные N значений эмпирической спектральной плотности. Эта величина распределена по бета-закону и может использоваться для оценки выделяющихся значений спектральной плотности в соответствии с выражением ее функции распределения:

$$P\{s_k > x\} = (1-x)^{N-1}, \quad 0 < x < 1 .$$

Чаще всего представляет интерес оценка максимальной ординаты спектра, т.е. величины

$$s'_k = \max s_k .$$

Для нее функция распределения, полученная Фишером (Fisher, 1929), имеет следующий вид:

$$P\{s'_k > x\} = \sum_{j=1}^{\left[\frac{1}{x}\right]} (-1)^{j-1} C_N^{j-1} (1-jx)^{N-1}, \quad 0 < x < 1,$$

где $\left[\frac{1}{x}\right]$ — целая часть положительного числа $\frac{1}{x}$.

Таким образом, с помощью этой функции или ее таблиц (Davis, 1941) по данным N и p_ε можно найти такое x_ε , что вероятность

$$P\{s'_k > x_\varepsilon\} = p_\varepsilon.$$

В более общем случае распределение r -й по величине статистики $s^{(r)}$ из всех s_k ($k = 1, \dots, N$) задается функцией распределения (Whittle, 1951):

$$P\{s_k^{(r)} > x\} = \frac{N!}{(r-1)!} \sum_{j=r}^{\left[\frac{1}{x}\right]} (-1)^{j-r} \frac{(1-jx)^{N-1}}{j(N-j)!(j-r)!}, \quad 0 < x < 1.$$

После оценки выделяющихся частот указанными способами или непосредственно по реализациям на глаз приступают к оценке параметров гармоник, аппроксимирующих анализируемые кривые. Эта процедура детально изложена в геологической литературе (Висте-лиус, 1945, 1963а, 1963б), поэтому ниже приводятся только основные соотношения.

Оценки параметров гармонической кривой

$$y = A \cos(\omega x - \varphi),$$

которую удобнее представить в виде

$$y = C \cos \omega x + D \sin \omega x,$$

где

$$A = \sqrt{C^2 + D^2}, \quad \varphi = \arctg \frac{D}{C},$$

отыскивается путем решения системы уравнений:

$$C \sum_{i=1}^n \cos^2 \omega x_i + D \sum_{i=1}^n \sin \omega x_i \cos \omega x_i = \sum_{i=1}^n y_i \cos \omega x_i,$$

$$C \sum_{i=1}^n \sin \omega x_i \cos \omega x_i + D \sum_{i=1}^n \sin^2 \omega x_i = \sum_{i=1}^n y_i \sin \omega x_i.$$

Решение этой системы, где y_i — значения реализации в моменты времени (мощности) x_i ($i = 1, \dots, n$), ω — известная частота, дает неизвестные C и D . Аналогичная работа повторяется для всех значимо выделяющихся частот. Сумма гармонических компонент будет представлять собой гармоническую модель процесса осадконакопления.

Таким образом, нахождение параметров моделей завершает работу по синтезу оператора динамической системы осадконакопления, так как последний ими однозначно определяется. В классе рассмотренных моделей с „белым шумом“ на входе такими операторами являются:

- 1) оператор тождественного преобразования для процесса типа „белого шума“;
- 2) оператор суммирования для процессов скользящего среднего;
- 3) линейные дифференциальные операторы для авторегрессионных и гармонических процессов (для первых, кроме того, конечно-разностные операторы).

Следует, кроме того, учитывать, что природные процессы могут быть продуктами суперпозиций различных операторов, что находит отражение в их особенностях. В частности, если процесс допускает разложение на несколько составляющих:

$$X(t) = \sum_{i=1}^m X_i(t),$$

то его спектр является суммой спектров составляющих процессов (Харкевич, 1957):

$$S_X(\omega) = \sum_{i=1}^m S_{X_i}(\omega).$$

Иначе говоря, уже вид эмпирической спектральной плотности говорит о наличии суперпозиции нескольких типов процесса в исследуемых реализациях. В принципе составляющие могут быть выделены непосредственным разложением спектральной плотности.

Г л а в а 3

МОДЕЛИ ЯТУЛИЙСКОЙ СЕДИМЕНТАЦИИ

Как было показано в предыдущей главе, выбранные для исследования в разрезах характеристики осадков можно считать удовлетворяющими требованиям нормальности распределения. Остается проверить анализируемые реализации на стационарность и эргодичность.

Отсутствие поступательно эволюционирующих компонент в кривых средней грубости и нерастворимого остатка усматривается в общем непосредственно в фактических кривых (рис. 16, 22, 23). Специальные подсчеты средних по отрезкам реализаций в большинстве случаев не противоречат гипотезе о постоянстве математических ожиданий. Для проверки стационарности по отношению к корреляционной функции отдельные разрезы были разделены на три части, по которым вычислены эмпирические корреляционные функции (рис. 17), которые, как выяснилось, не различаются на 95%-м уровне значимости. Эти результаты позволяют принять гипотезу стационарности исследуемых процессов. Видимое в наиболее мощных разрезах явное стремление корреляционной функции (рис. 18) к нулю свидетельствует об эргодичности исходных данных. Учитывая сравнительную однородность и выдержанность характеристик ятулийских отложений на всей территории, полученные выводы распространяются на все анализируемые разрезы, что открывает возможность их дальнейшего анализа.

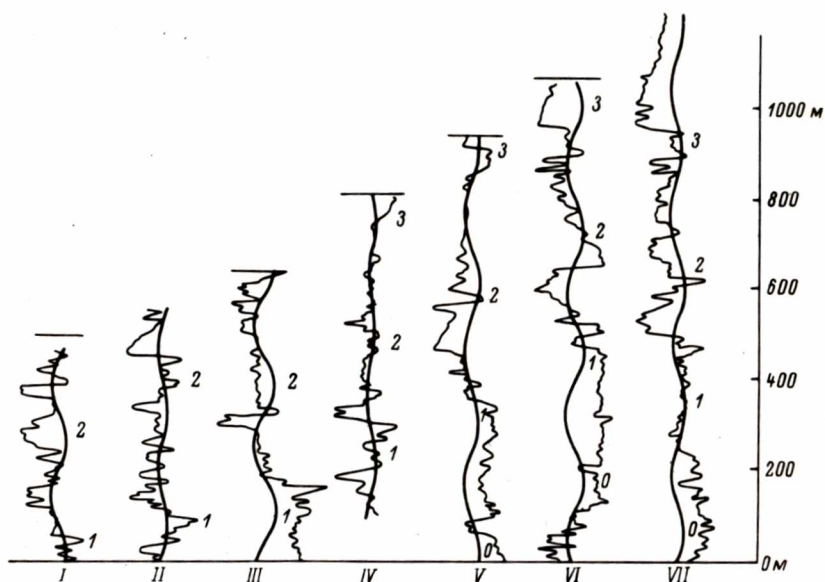


Рис. 16. Примеры кривых средней грубости и аппроксимирующих их кривых мезоритма по разрезам нижнего ятулия в различных районах.

1 - оз. Аконъярви; 2 - ст. Аконъярви; 3 - оз. Маймъярви; 4 - оз. Пюкс; 5 - оз. Пизанец; 6 - оз. Кукъярви; 7 - оз. Палапампи.

Нижний ятулий

Для большинства разрезов нижнеятулийских отложений по имеющимся реализациям средней грубости получены эмпирические коррелограммы и спектры (спектральные плотности). Отчетливая периодичность большинства реализаций (рис. 16), особенности кривых корреляционных функций и спектральных плотностей (рис. 18) не оставляют сомнений в том, что фактические кривые средней грубости содержат четко проявленные периодические компоненты. Ана-

логичные выводы вытекают из материалов по строению разрезов, изложенных в главе 1, где подчеркивается широкое развитие явлений ритмичности и цикличности в ятулийских топшах.

Периодическую составляющую можно моделировать как тригонометрическими функциями, так и авторегрессиями. Поэтому, несмотря на предыдущий вывод, производилась проверка пригодности авторегрессионных схем для аппроксимации кривых средней грубости по отдельным разрезам нижнего ятулия.

Расчет констант авторегрессии для разреза в районе оз. Аконъярви показал следующее.

1. Авторегрессия первого порядка заранее отвергается, так как не может объяснить наблюдаемых осцилляций корреляционной функции (рис. 18).

2. Оценки коэффициентов авторегрессии второго порядка составляют: $\hat{a}_1 = +0.810$, $\hat{a}_2 = -0.005$. Учитывая $\sigma_2 = 0.093$, приходится сделать вывод, что второй коэффициент незначимо отличается от нуля и, следовательно, авторегрессия второго порядка не отличается от первого.

Теоретический коррелограмм для случаев 1 и 2 показан на рис. 18.

3. Методом последовательного определения находим константы авторегрессии третьего порядка: $\hat{a}_1 = 0.910$, $\hat{a}_2 = 0.191$, $\hat{a}_3 = 0.236$. Все они значимо отличаются от нуля. Значения теоретического коррелограма по (12) составляют монотонно убывающий ряд степенного характера (рис. 18), который может аппроксимироваться функцией

$$r_t = 0.893^t,$$

т.е. и эта схема мало отличается от авторегрессии первого порядка. Учитывая вид корреляционной функции, можно сделать вывод, что для удовлетворительной аппроксимации эмпирического ряда

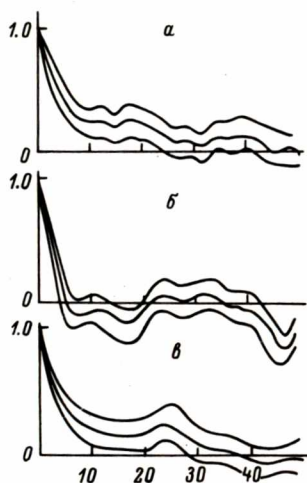


Рис. 17. Эмпирические корреляционные функции для верхней (а), средней (б) и нижней (в) частей разреза верхнего ятулия в районе южного берега оз. Елмозеро.

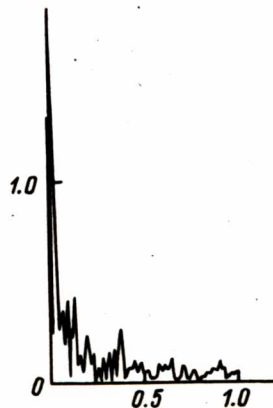
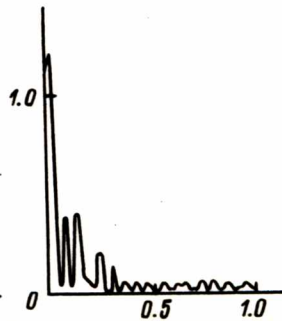
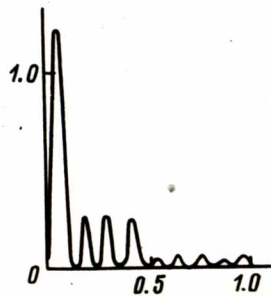
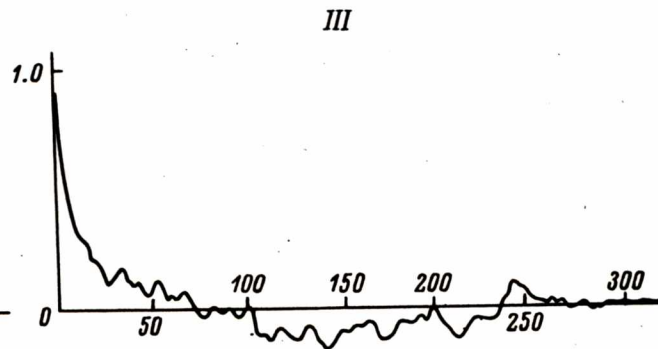
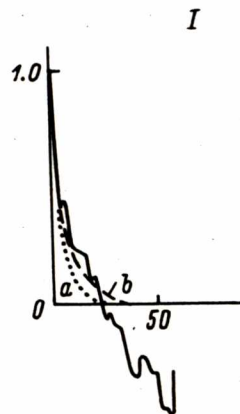


Рис. 18. Примеры коррелограммов (вверху) и спектров для разрезов нижнего ятулия.

I - район оз. Аконъярви (a - теоретический коррелограмм для авторегрессии второго порядка, b - то же, третьего порядка); II - район оз. Палалампи (c - теоретический коррелограмм для авторегрессии четвертого порядка); III - коррелограмм и спектр для разреза всего ятулия в районе оз. Туломозеро.

значений средней грубости требуется авторегрессия высокого порядка, обеспечивающая устойчивые асимплиции ряда, или, что вероятнее и проще, использование гармонических функций.

Для разреза нижнеятулийских отложений района оз. Палалампи (Мотко-Воломская структура) получены следующие результаты.

Авторегрессия второго порядка определяется коэффициентами $\hat{a}_1=0.873$ и $\hat{a}_2=0.072$ при $\sigma_2=0.079$, т.е. положение аналогично предыдущему случаю. Находим $\hat{a}_3=0.083$, которое также следует приравнять нулю. Наконец, для четвертого порядка имеем: $\hat{a}_1=0.873$, $\hat{a}_2=0$, $\hat{a}_3=-0.408$, $\hat{a}_4=0.467$. Теоретический коррелограмм (рис. 18) дает монотонно убывающую последовательность, близкую к виду

$$r_t = 0.961^t.$$

Как видно из приведенных результатов, разобранные схемы дают теоретические коррелограммы, согласие которых с эмпирическими составляет желать много лучшего. Поэтому, не углубляясь в дальнейшую проверку, переходим к гармоническому типу моделей.

Обычно при аппроксимации кривых характеристик осадка тригонометрическими полиномами наибольший интерес представляют параметры самых длинноволновых составляющих (Вистелиус, 1963а, 1963б). В связи с этим изучение нижнеятулийских разрезов ориентировалось в дальнейшем на выделение и геологическое использование наиболее низкочастотной гармоник в каждой имеющейся реализации. Оценка параметров гармонического процесса, принятого в качестве модели, осуществлялась путем аппроксимации эмпирического распределения средней грубости в каждом разрезе кривой мезоритма (Вистелиус, 1945):

$$y = A \cos(\omega x - \varphi),$$

где A - амплитуда; φ - начальная фаза, найденная методом наименьших квадратов. Величина частоты ω или длины периода τ , связанные соотношением

$$\omega = \frac{2\pi}{\tau},$$

определялись соответственно по абсциссе первого максимума эмпирической спектральной плотности или на глаз по реализации в тех случаях, когда наличие разрывов в последней препятствовало получению спектра процесса.

Таким образом найдены синусоиды, сглаживающие наблюдаемые распределения средней грубости во всех использованных разрезах нижнего ятулия. Эта совокупность математически выраженных закономерностей, описывающих ход осадконакопления в конкретных пунктах нижнеятулийского бассейна седиментогенеза, может рассматриваться как соответствующая модель процесса, обусловившего наблюдаемое распределение средней грубости в разрезах.

Реализации средней грубости, полученные для различных участков, хорошо сопоставляются. Как правило, они тем более похожи по своим особенностям друг на друга, чем ближе расположены соответствующие разрезы. Степень изученности нижнеятулийских конгломерато-кварцитовых толщ достаточно высока, и сопоставление их даже весьма удаленных разрезов обычными методами не вызывает затруднений. В данном случае хорошая сопоставимость разрезов по реализациям средней грубости демонстрирует лишь эффективность их использования для подобных целей.

Опыт применения кривых мезоритма (Вистелиус, 1963а, 1968б) и чисто геологические соображения подсказывают, что эти кривые, по-видимому, отражают медленные колебательные движения блоков основания различной величины. При этом естественно полагать, что наиболее крупные блоки движутся медленнее других и приводят к появлению длинноволновой периодичности в разрезах осадков, развитых на значительных площадях. Отсюда следует, что одноименные фазовые координаты точек на кривых мезоритма являются синхронными, а их последовательность по вертикали отражает временную последовательность накопления осадочной толщи. Даже если бы синусоидальный характер мезоритма был порождением иных, не тектонических факторов, все равно одновременность их действия на значительной площади приводит к утверждению синхронности кривых мезоритма в изученных разрезах. Эти соображения лежат в основе одного из путей дальнейшего геологического применения полученных результатов. В частности, многообещающим является картирование на площади последовательности заложения различных стратиграфических поверхностей раздела – маркирующих горизонтов и границ стратиграфических подразделений.

По кривым мезоритма (рис. 16) видно, что их нижние части в различных разрезах отличаются друг от друга по фазе начала разреза – одни начались как бы раньше других, в которых накопление осадков началось с более поздней фазы. Если величины начальных

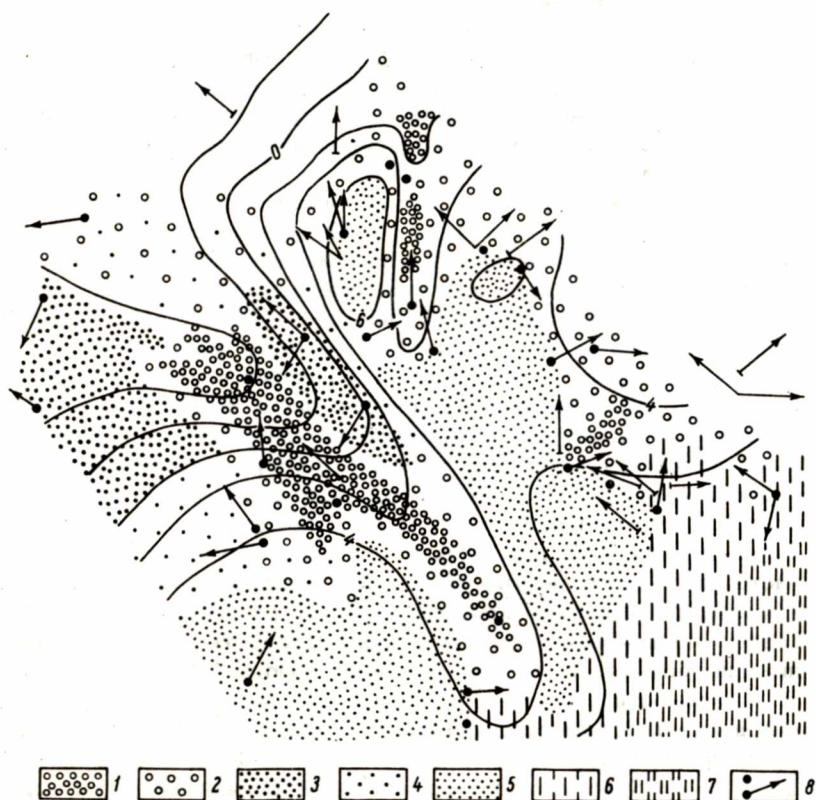


Рис. 19. Схема изопиний отметок начальной фазы мезоритма в подошве ятулия.

1 - кварцевые конгломераты в основании ятулийских отложений мощностью более 100 м; 2 - то же, мощностью менее 100 м; 3 - грубообломочные аркозы мощностью более 100 м; 4 - то же, мощностью менее 100 м; 5 - площадь распространения коры выветривания; 6 - районы перехода к области сноса; 7 - постоянная область сноса в нижнеятулийское время; 8 - расположение разрезов и направление среднего вектора кривой слоистости (относительная длина стрелки пропорциональна среднему модулю вектора) в отложениях первой пачки нижнего ятулия.

фаз мезоритма в подошве ятулия нанести на карту и с помощью интерполяции провести изолинии фазовых координат в радианах, по лучим схему (рис. 19), которая отражает последовательность захоронения разрушающейся поверхности доятулийского основания. Проверка этого положения производится с помощью соответствующих геолого-литологических и палеогеографических данных (глава 1). В результате проверки установлено:

1. Площади с развитой корой химического выветривания под доятулийского фундамента (рис. 6, 19) совпадают с участками, где градиент изменения начальной фазы мезоритма мал по модулю. В то же время какие-либо признаки выветривания подстилающих базальный горизонт образований либо отсутствуют, либо относительно слабы там, где модуль градиента начальной фазы велик.

2. Мощность широко распространенных в основании ятулия кварцевых конгломератов на большей части территории не превышает немногих метров, но в разрезах, совпадающих с долинообразными понижениями отметок начальных фаз, она достигает десятков и сотен метров. Так, в районе оз. Маймъярви она равна 180 м, причем в этом разрезе конгломераты представлены наиболее крупными фракциями. В районе восточнее пос. Гимолы соответствующая часть разреза мощностью свыше 500 м сложена песчаниками с маломощными прослоями конгломератов. В разрезе района оз. Нурма (север Мотко-Воломской структуры) мощность синхронных отложений еще больше, но грубообломочные породы составляют только 50 м мощности в основании разреза. Очевидно, в данном случае кварцевые конгломераты занимают в плане сильно вытянутый участок, прослеживающийся на юго-восток до оз. Пальеозеро. Вдоль длинной оси участка в северо-западном направлении происходит уменьшение размера галек и фациальное замещение конгломератов песчаниками.

3. По обе стороны указанного участка базальные образования ятулия представлены грубообломочными аркозовыми породами, увеличение мощности которых фиксируется там, где установлен повышенный градиент изменения начальной фазы мезоритма подошвы ятулия.

Таким образом, осевая часть долинообразного понижения отметок фазы в подошве ятулия совпадает с областью накопления преимущественно мономинеральных кварцевых конгломератов с определенными фациальными переходами вдоль „долины“, тогда как на ее „склонах“ накапливались в зависимости от их крутизны более или менее грубообломочные аркозовые породы. В меньшем масштабе такие же закономерности наблюдаются в „долине“, расположенной вдоль западного побережья озер Сегозеро и Елмозеро.

Суммарные векторы азимутов падения косой слоистости, наблюдающейся в базальных отложениях, как правило, пересекают

золинии отметок начальной фазы подошвы ятулия под углами, близкими к прямым, и направлены в сторону снижения этих отметок, т.е. направления потоков, отложивших измеренные косослоистые слои, согласуются с проверяемым предположением.

Перечень подобных совпадений литологических, структурно-геоморфических и прочих особенностей ятулийских отложений изучае-

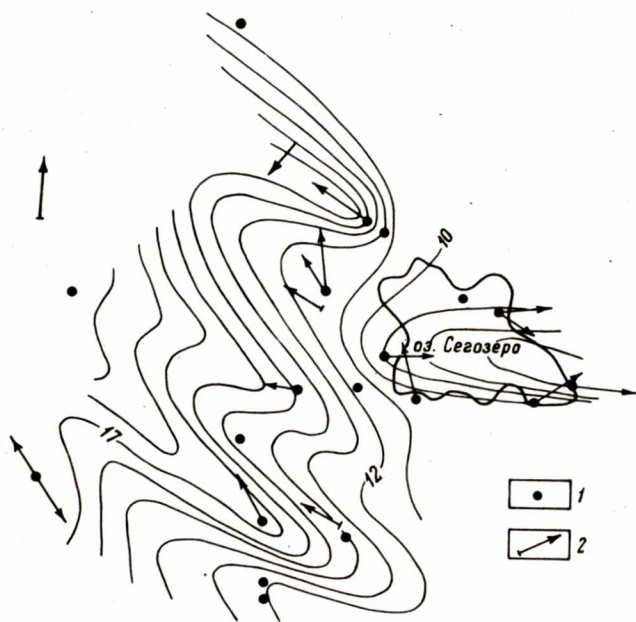


Рис. 20. Схема изопрофий отметок фазы мезоритма в подошве второй пачки нижнего ятулия.

1 - расположение разрезов; 2 - средние векторы косослоистости в породах второй пачки нижнего ятулия.

то района со специфическими чертами рисунка изопрофий отметок начальной фазы можно было бы продолжить, однако приведенных данных вполне достаточно, чтобы утверждать, что отметки начальной фазы мезоритма в подошве ятулия отражают главные особенности развития рельефа области седиментации и последовательность

его захоронения. Имеющиеся сведения по палеогеографии области для времени формирования базальных образований (рис. 6) и осадочных пород первой пачки нижнего ятулия (рис. 7), основанные на большом и более разнообразном материале, также вполне удовлетворительно согласуются с рассматриваемой схемой. Очертания рельефа и формы поверхности доятулийского основания, установленные при посредстве фазовых координат подошвы ятулия, получают при этом значительно большую детализацию и количественное выражение, позволяющее, вероятно, в будущем перейти к составлению

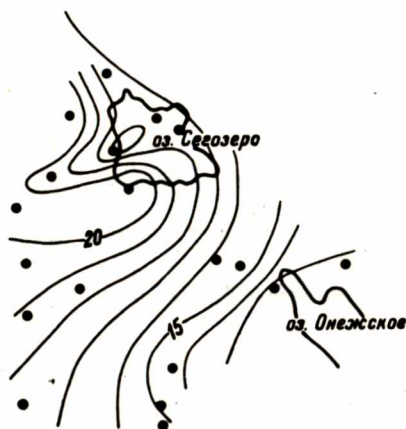


Рис. 21. Схема изопиний отметок фазы мезоритма в кровле осадочной подтопши нижнего ятулия.

схем относительной гипсометрии для соответствующих палеогеографических карт.

Следующим маркирующим горизонтом в разрезе нижнеятулийских отложений является подошва второй осадочной пачки — подошва выдержанного горизонта чистых мономинеральных кварцитовых пород. Исходя из вышеизложенного понимания геологического смысла гармонической модели следует предполагать, что схема изопиний отметок фазы мезоритма в подошве горизонта кварцитов (рис. 20) должна иллюстрировать последовательность начала накопления соответствующих отложений, т.е. последовательность продвижения осадков, давших начало чистым кварцитам.

На рис. 20 изопинии образуют ряд заливообразных изгибов с северо-западным направлением выпуклости, проходящих через районы дер. Аконъярви, пос. Гимопы и оз. Маспозеро. Предположение о том, что изопинии трассируют перемещение фронтальной части чистых кварцевых песков, хорошо согласуется с данными по ориентировке косослоистых текстур, измеренных в кварцитовых породах по всей территории, за исключением района оз. Сегозеро. В последнем случае наблюдается резкая инверсия отмеченной закономерности, заключающаяся в том, что в отличие от прочих районов косая слоистость здесь ориентирована по антиградиенту

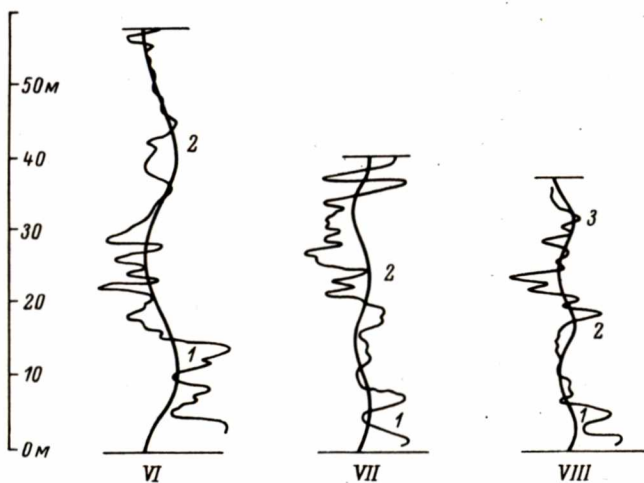
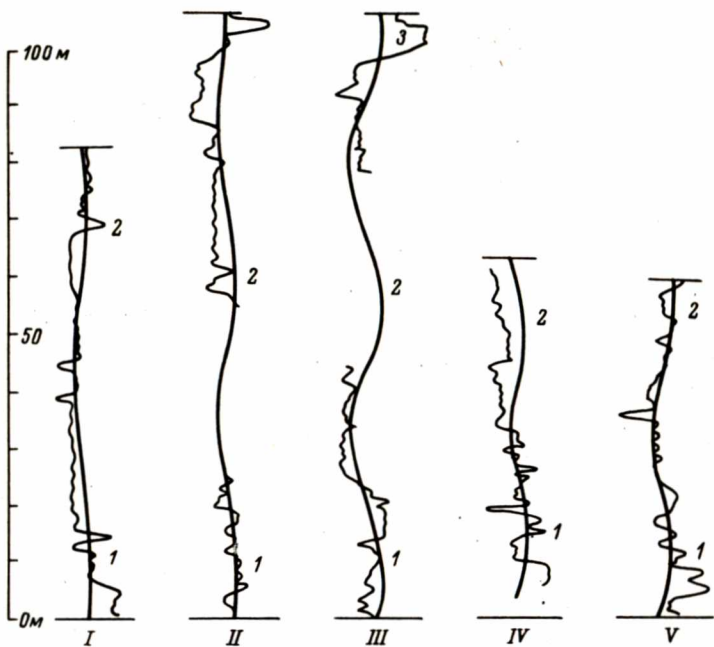
фазовой поверхности. Такое расхождение, по-видимому, объясняется тем, что в районе юго-восточного побережья оз. Сегозеро в разрезе первой пачки отсутствует значительная часть песчаников, обычно залегающих под кварцитами. Они или вообще здесь не накапливались, или были размыты перед накоплением чистых кварцевых песков.

Другим доказательством гипотезы о „фронте” продвижения кварцевых осадков является общее уменьшение зернистости кварцитовых пород в северо-западном направлении, заметное при описании соответствующих разрезов и отражающееся в величине амплитуд полученных для них синусоид.

Сравнение двух последних схем позволяет выявить дополнительные сведения об особенностях нижнеятулийского осадконакопления. В частности, можно сделать вывод, что продвижение песков, из которых позднее образовались кварциты, происходило быстрее по долинам тектонического рельефа, установленным с помощью картирования фаз подошвы ятулия. Часть долин сохранялась с начала ятулийского времени, другие были вновь заложены, а скорее всего, не нашли отражения в фазовой поверхности подошвы ятулия, построенной по редким точкам.

Выводы, полученные при картировании фазы подошвы второй пачки, также не противоречат палеогеографическим реконструкциям для соответствующего периода (рис. 8), изложенным в главе 1. На данном примере отчетливо видна справедливость некогда обсуждавшегося в литологии положения о том, что слой в смысле его синхронности по латерали не является однородным образованием.

Аналогичная работа была проделана по отношению к кровле осадков нижнего ятулия или подошве нижнеятулийских эффузивных диабазов, где они имелись в разрезе. Количество разрезов, в которых эта стратиграфическая граница наблюдается, невелико, однако схема изолиний ее фазовой координаты была построена (рис. 21). Данная схема характеризует довольно сложную картину распределения отметок фазы мезоритма в подошве эффузивного пласта и может интерпретироваться как показатель степени размыва нижнеятулийских отложений перед началом лавовых излияний. Анализ схемы показывает, что величина размыва увеличивается в общем юго-восточном направлении и в целом согласуется с представлениями (глава 1) о более развитой тенденции этих районов к воздыманию (рис. 3, 19). В этом же направлении возрастает общая мощность эффузивного пласта и количество слагающих его потоков (покровов).



Средний ятулий

В связи с плохой обнаженностью среднеятулийских осадочных пород для моделирования среднеятулийского осадконакопления из всего имеющегося материала удалось использовать только 12 разрезов терригенного ятулия (сегозерская серия) и три разреза терригенно-карбонатного ятулия (онежская серия или прионежско-суоярвский тип разреза), однако их совместный анализ позволяет сделать некоторые выводы. Анализ кривых средней грубости и нерастворимого остатка, соответствующих изучаемым разрезам (рис. 22, 23), обнаруживает их явно осциллирующий характер. Следовательно, для всех разрезов „белый шум” и процесс скользящих средних в качестве единой модели не пригодны. Использование авторегрессионных процессов рационально малого порядка, по-видимому, здесь также заведомо обречено на неудачу, так как эмпирические коррелограммы часто содержат удаленные от начала координат значимо отклоняющиеся от нуля значения (рис. 24). Для аппроксимации таких особенностей могли бы потребоваться весьма громоздкие авторегрессионные схемы. Таким образом, как и для нижнего ятулия, наиболее предпочтительной является гармоническая модель.

Для всех отобранных разрезов параметры мезоритма определены в соответствии с методикой, изложенной в предыдущей главе. Примеры аппроксимации эмпирических кривых приведены на рис. 22, 23. Для разрезов в районах дер. Сельги и Гумарино (рис. 22), каждый из которых состоит из двух частей, определение параметров мезоритма пришлось проводить отдельно для каждой части. Тем не менее полученные по этим частям параметры почти не различались, за исключением того, что абсциссы максимумов, определенные для верхней и нижней частей разрезов, отличались на 7 м для района дер. Сельги и около 5 м для района дер. Гумарино. В первом случае полевое описание вследствие местного усложнения условий залегания вполне могло содержать ошибку в определении мощности необнаженной части разреза, поэтому последняя была уменьшена до совпадения одноименных максимумов мезоритма. Во втором случае

Рис. 22. Примеры кривых средней грубости и аппроксимирующих их кривых мезоритма по разрезам осадочных образований среднего ятулия в разных районах.

I – дер. Паданы; II – дер. Сельги; III – дер. Гумарино; IV – р. Янгозерко; V – дер. Совдозеро; VI – о-в Шенонсари (оз. Сегозеро); VII – о-в Лехта-2 (оз. Сегозеро); VIII – Глухая губа (оз. Сегозеро), Арабские цифры – одноименные максимумы.

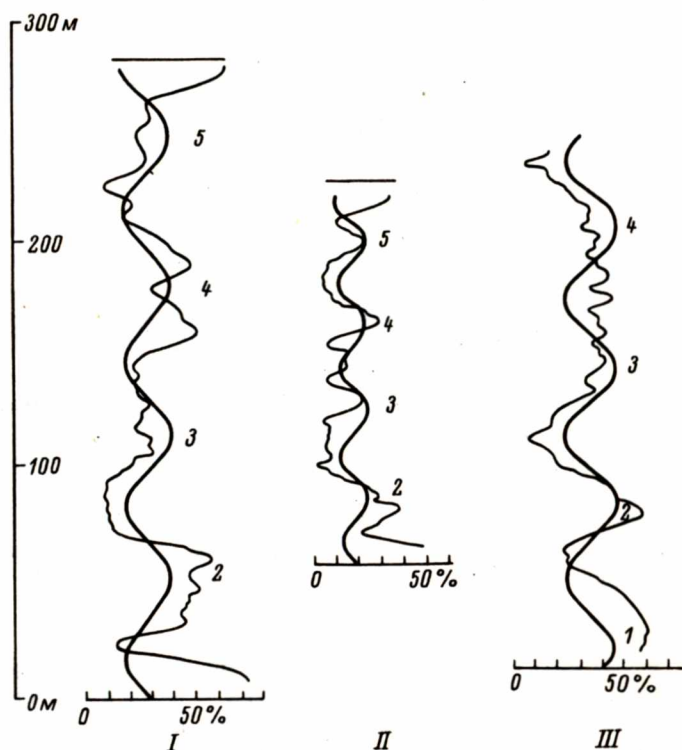


Рис. 23. Кривые нерастворимого остатка и аппроксимирующие их кривые мезоритма по разрезам терригенно-карбонатного (прионежско-суоярвский тип разреза) среднего ятулия в различных районах.

I - оз. Пяозеро; II - оз. Суоярви (северный разрез); III - оз. Суоярви (южный). Арабские цифры - одноименные максимумы.

невязка в 5 м ввиду ее незначительности по сравнению с периодом мезоритма (47.25 м) не учитывалась, и для всего разреза использована синусоида, полученная по нижней части. Согласие ее с верхней частью кривой средней грубости сохранилось на удовлетворительном уровне. Следует здесь попутно отметить, что такие случаи демонстрируют пригодность метода для сопоставления неперекрывающихся частей разреза осадочной толщи.

Сравнение кривых средней грубости по различным разрезам терригенного ятулия (рис. 22) показывает, что они хорошо сопоставляются. То же самое можно сказать в отношении кривых неразстворимого остатка для разрезов терригенно-карбонатного ятулия (рис. 23). Сравнение и тех и других показывает, что они имеют общие особенности, позволяющие сопоставить все разрезы независимо от их фациальной природы. Таким образом, мнение о синхронности „сегозерской“ и „онежской“ серий ятулия получает дополнительное подтверждение.

При анализе сопоставления разрезов с помощью кривых мезоритма, аппроксимирующих эмпирические кривые, выясняется, что это сопоставление не везде одинаково. При сравнении „терригенных“ разрезов между собой (одноименные максимумы на рис. 22 и 23 пронумерованы одинаковыми цифрами) больших различий между разрезами не отмечается, так же как и между „терригенно-карбонатными“ разрезами. Но при сравнении обеих групп разрезов обнаруживается, что разрезы терригенно-карбонатного среднего ятулия характеризуются значительно большим числом максимумов кривой мезоритма, т.е. в фазовых координатах имеют протяженность, более чем на период превышающую величины, обычные для разрезов терригенного среднего ятулия. Отсюда следует естественный вывод о том, что, когда в области развития „сегозерской“ серии ятулия среднеятулийское осадконакопление сменилось в основном лавовыми излияниями, в области развития „онежской“ серии продолжалось накопление осадков.

Вывод о синхронности верхней части разреза терригенно-карбонатного среднего ятулия прионежско-суоярвского типа и среднеятулийских эффузивов различных типов разреза терригенного ятулия подтверждается некоторыми геологическими фактами.

1. Как указывалось в главе 1, в разрезе среднего ятулия в районе пос. Гирвас (вблизи области распространения терригенно-карбонатного среднего ятулия) в нижней части эффузивного пласта наблюдается переслаивание диабазовых лавовых потоков (покровов) с горизонтами туфогенных и терригенно-карбонатных пород, непосредственно указывающее на синхронность вулканизма и терригенно-карбонатного осадконакопления.

2. Сравнение химического состава сланцев, присутствующих в верхней части разрезов прионежско-суоярвского типа („онежская“ серия), для которых можно предполагать наличие туфогенной составляющей, с типичными туфами среднего ятулия, залегающими среди лавовых потоков, а также в качестве альтернатив с основными эффузивами, сланцами из разрезов терригенного среднего ятулия, верхнего ятулия и коры выветривания показало, что они наиболее близки среднеятулийским туфам. Это попарное сравнение производилось с помощью критериев Стюдента и Фишера по данным

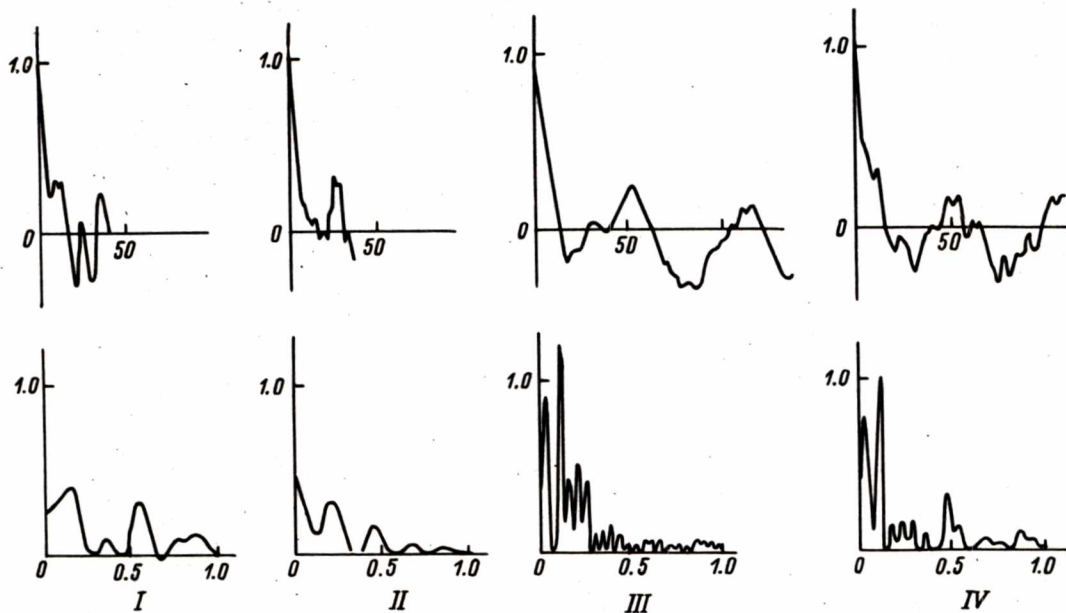


Рис. 24. Примеры кореллограммов (вверху) и спектров по разрезам среднего ятулия в различных районах.

I - о-в Лехта-2 (оз. Сегозеро); II - Глухая губа (оз. Сегозеро); III - оз. Пяозеро; IV - оз. Суоярви (южный разрез).

108 полных силикатных анализов. Установлено также, что данная группа сланцев отличается от туфов в 4.21 раза меньше, чем от сланцев нижнего ятулия, и эта величина еще больше для других групп пород. Таким образом, проведенный анализ подтверждает наличие туфогенной компоненты в сланцах верхней части разрезов онежской серии ятулия (Соколов и др., 1971).

Малое количество разрезов среднего ятулия не обещало хороших результатов картирования фазовых координат среднеятулийских стратиграфических поверхностей раздела. Некоторые попытки в этом направлении все же были предприняты и дали положительные результаты. Разумеется, автор отдает себе отчет в том, что приводимые схемы имеют приближенный характер.

Отметки начальной фазы мезоритма в подошве среднего ятулия (рис. 25) в силу своей немногочисленности позволяют провести лишь малое количество изолиний. Несомненно устанавливается, что в районе, расположенном к северо-западу от дер. Паданы, Сельги, Гумарино и пос. Совдозеро, располагается область более низких значений, так же как и юго-восточнее линии дер. Святнаволок-г. Медвежьегорск. Это свидетельствует о более раннем начале накопления осадков в указанных районах, что не противоречит сведениям по палеогеографии региона для соответствующего периода (рис. 10). Область развития „онежской“ серии ятулия характеризуется большими величинами отметок фазы. Если учесть наличие в подошве развитых здесь отложений конгломератовых пород, то можно предполагать, что начальные этапы среднеятулийской эпохи седиментации в данной области характеризовались преобладанием процессов денудации, что и привело к редукции нижних частей разреза.

Рисунок изолиний рассматриваемой схемы (рис. 25) очерчивает границы некоторого блока земной коры. Возникает вопрос, насколько случайно совпадение пунктов расположения установленных и предполагаемых центров лавовых излияний (Светов, 1972), которые начали функционировать в конце среднеятулийского времени, и упомянутых границ. Для однозначного ответа на этот вопрос пока данных недостаточно.

На схеме изолиний фазы кровли осадочной подтолщи среднего ятулия (рис. 26) области развития „сегозерской“ и „онежской“ серий также резко различаются. Последней соответствуют значения в южной части террито-

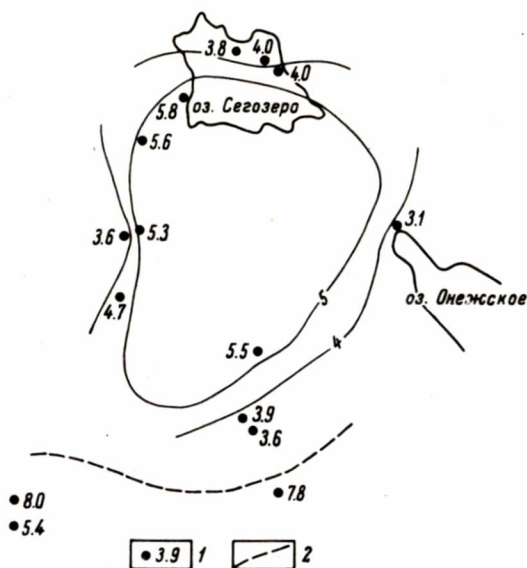


Рис. 25. Схема изолиний отметок начальной фазы мезоритма в подошве среднего ятулия.

1 — расположение разреза и значение фазы; 2 — зона перехода между терригенным (сегозерская серия) и терригенно-карбонатным (онежская серия) типами разреза среднего ятулия.

рии, резко превышающие все остальные. Этот факт обсуждался ранее. Он свидетельствует о том, что здесь осадконакопление продолжалось еще долго после того, как вся остальная площадь стала ареной вулканической деятельности.

В области распространения терригенных отложений схема имеет свои особенности. Самые малые значения фаз приходятся на участок, занимаемый отложениями койкарско-медвежьегорского типа. Вероятно, здесь лавовым излияниям предшествовал наибольший размыв. Накопление карбонатных осадков южнее этого участка продолжалось, а в перерывах между пароксизмами вулканической деятельности распространялось и на этот участок, что привело к появлению про-

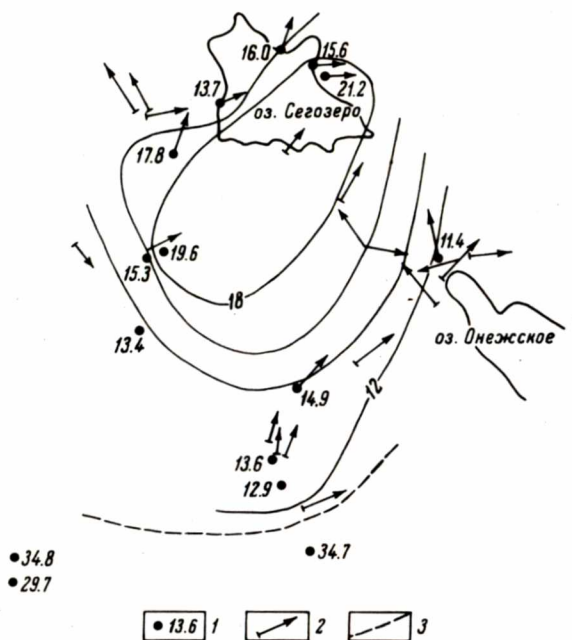


Рис. 26. Схема изолиний фазы мезоритма в кровле осадочных образований среднего ятулия.

1 — расположение разреза и значение фазы;
2 — средний вектор косой слоистости в осадочных образованиях среднего ятулия; 3 — зона перехода сегозерской и онежской серий ятулия.

слоев соответствующих осадочных пород между лавовыми потоками (покровами). Центральная область схемы характеризуется повышенными значениями отметок фазы в кровле осадков. Это объясняется, по-видимому, меньшими масштабами размыва отложений по сравнению с окружающими участками. Любопытно отметить, что в рисунке изолиний снова проступают контуры упомянутого блока земной коры, который здесь, кроме прочего, объясняет и меньший размыв среднеятулийских отложений, расположенных в его центре. Палеодинамические данные (ориентировка косослоистых текстур в песчаниках среднего ятулия) также не противоречат гипотезе о существовании этого блока, унаследованного, вероятно, еще с нижнепротерозойского времени (рис. 2, 3).

Верхний ятулий

Для специального изучения оказалось возможным использовать только четыре неполных разреза верхнеятулийских отложений. Их сопоставление по геолого-литологическим данным и кривым средней грубости не вызывает сомнений. Установлено, что процесс формирования наблюдаемых кривых средней грубости удовлетворяет требованиям стационарности и эргодичности. Эмпирические корреляционные функции и спектральные плотности имеют особенности, характерные для полигармонического процесса. В связи с малочисленностью разрезов параметры мезоритма для них не оценивались. Попытка аппроксимации эмпирических рядов авторегрессиями до 22-го порядка, предпринятая с целью проверки, оказалась безуспешной. Это заставляет утверждать, что и для верхнеятулийского времени главной особенностью осадконакопления является его сложный ациллирующий характер.

Распределение малых элементов в лавовом потоке диабазов

В связи с тем что при изучении ятулийский седиментации не было получено ни одного случая удовлетворительной аппроксимации процесса осадконакопления авторегрессиями, ниже приводится пример успешного, на наш взгляд, применения соответствующих схем для объяснения распределения малых элементов в диабазах лавового потока независимо от того, что этот пример не относится к области седиментологии. Кроме того, данный случай иллюстрирует возможности расширения сферы приложений изложенных методов.

При изучении химического состава лавовых потоков среднего ятулия выяснилось (Светов, 1972), что они неоднородны, и распределение отдельных элементов по мощности потока более или менее закономерно изменяется наряду со случайными флуктуациями. Наиболее реально предполагать, что застывание и кристаллизация лавы в потоке начинались в кровле и подошве, где и отмечаются афанитовые разности диабаза. В последнюю очередь затвердеванию и кристаллизации подверглась центральная часть потока, представленная ныне диабазовыми порфиритами. Если во время охлаждения потока имела место хотя бы слабая дифференциация жидкой и твердой фазы по составу, то следовало бы ожидать, что в каждый момент состав жидкой фазы будет зависеть от состава образующейся твер-

дой фазы. Иначе говоря, в отрезке от подошвы до наиболее раскристаллизованной части потока должна наблюдаться зависимость содержаний элементов от содержаний их в нижележащих точках.

Проверка данной гипотезы осуществлялась на материале, любезно предоставленном геологами Института геологии Карельского филиала АН СССР А.П. Световым и А.И. Голубевым. Этот материал представляет собой результаты полуколичественного спектрального анализа 85 проб диабазов, отобранных равномерно от подошвы до наиболее раскристаллизованной части одного из потоков в разрезе эффузивных диабазов среднего ятупия района оз. Сегозеро.

Для моделирования использованы данные о содержаниях ванадия, титана, меди и никеля, выраженные в условных единицах, пропорциональных логарифмам истинных содержаний, что приближает закон распределения этих величин к нормальному.

При анализе сумм остатков авторегрессионных рядов (6) установлено следующее.

1. Для ванадия сумма остатков последовательно убывает до 4-го порядка авторегрессии, затем монотонно неограниченно возрастает. Проверка по критерию Пирсона показала, что 4-й порядок описывает распределение ванадия наилучшим образом.

2. Для титана приведенные суммы остатков убывают также до 4-го порядка, однако наилучшей моделью является авторегрессия 3-го порядка.

3. Для никеля наилучшей является схема авторегрессии 9-го порядка.

4. Для меди аналогичный вывод можно сделать лишь для 21-го порядка, однако достоверность этого вывода не доказана, так как анализировались авторегрессии лишь до 22-го порядка.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод о том, что распределение ванадия, титана и никеля в изученном лавовом потоке не противоречит проверяемой гипотезе и, следовательно, сформировалось непосредственно в процессе остывания лавового материала. Для распределения меди аналогичный вывод не может быть сделан, хотя наличие в нем авторегрессионной компоненты и установлено. По-видимому, окончательное формирование распределения меди в лавовом потоке произошло после стадии застывания потока, реликтом которой и является указанная авторегрессионная составляющая.

Результаты приведенного примера показывают, что область применения предлагаемых методов моделирования природных динамических систем не ограничивается анализом процессов осадконакопления и может быть расширена для значительно более широкого круга объектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая работа является первым шагом на пути математического моделирования ятулийской седиментации. Несмотря на большие ограничения и сравнительно невысокую точность моделирования, полученные результаты свидетельствуют о принципиальной возможности и полезности применения вероятностных методов при изучении природных динамических систем. В целом результаты работы сводятся к следующему.

1. Определены типы процессов, пригодных в качестве моделей процессов седиментации, сформулирован соответствующий математический аппарат и последовательная процедура его применения.

2. Выбраны наиболее информативные свойства осадочных пород ятулийских толщ (средняя грубость и нерастворимый остаток), реализации которых в конкретных разрезах послужили основным материалом исследования.

3. Процесс ятулийского осадконакопления (формирования наблюдаемых распределений среднего размера частиц в терригенных и нерастворимого остатка в карбонатных толщах осадочных пород) имеет установившийся, довольно четко проявленный полициклический характер и может моделироваться экспоненциальными полиномами со случайными параметрами. Этот процесс соответствует выходной переменной природной стационарной динамической системы, описываемой линейными дифференциальными операторами.

4. Исходные геологические данные (реализации по разрезам) отвечают требованиям стационарности и эргодичности, что позволяет использовать для моделирования сравнительно простую методику, применение которой еще более облегчается электронно-вычислительной техникой.

5. Кривая мезоритма (наиболее длинноволновая составляющая модели), по-видимому, отражает колебательные тектонические дви-

жения крупных блоков джытулийского основания. В качестве некоторого аналога временной шкалы она может использоваться для сопоставления значительно удаленных разрезов осадочных образований, в том числе неперекрывающихся и различной фациальной природы.

6. Отметки начальной фазы мезоритма в подошве ятулия количественно отражают главнейшие особенности рельефа поверхности джытулийского основания в последовательные моменты его захоронения и могут использоваться при поисках россыпных полезных ископаемых.

7. Фазовые координаты стратиграфических поверхностей раздела дают понятие о временной последовательности их формирования и таким образом уточняют представления о палеогеографии региона в соответствующие периоды.

8. Полученные результаты не противоречат, а в большинстве случаев дополняют и уточняют результаты обычного литологического анализа, основанные на значительно большем материале. Это свидетельствует в пользу объективности выводов и лежащих в их основе положений.

9. Аналогичные методы могут применяться к исследованию не только осадконакопления. Некоторые из них могут успешно применяться для изучения магматических образований.

Все вышесказанное убедительно свидетельствует о полезности изучения природных объектов методами анализа и синтеза динамических систем.

ЛИТЕРАТУРА

- Бартлетт М.С. Введение в теорию случайных процессов. М., ИЛ, 1958.
- Ботвинкина Л.Н. Методическое руководство по изучению слоистости. – Тр. Геол. инст. АН СССР, 1965, вып. 119.
- Бунимович В.И. Флюктуационные процессы в радиоприемных устройствах. М., „Сов. радио“, 1951.
- Вистелиус А.Б. О выражении результатов фоссилизации колебательных движений земной коры с помощью ряда. – ДАН СССР, 1945, т. 49, № 7.
- Вистелиус А.Б. Ритмы пористости и явление фазовой дифференциации осадочных толщ. – ДАН СССР, 1946, т. 54, № 6.
- Вистелиус А.Б. О некоторых аналитических методах исследования ритмичности. – Сов. геология, 1948, № 28.
- Вистелиус А.Б. К вопросу о механизме слоеобразования. – ДАН СССР, 1949а, т. 65, № 2.
- Вистелиус А.Б. К вопросу о механизме связи при слоеобразовании. – ДАН СССР, 1949б, т. 65, № 4.
- Вистелиус А.Б. Материалы к литостратиграфии продуктивной толщи Азербайджана. М.–Л., Изд-во АН СССР, 1961.
- Вистелиус А.Б. Фазовая дифференциация палеозойских отложений Среднего Поволжья и Заволжья. М.–Л., Изд-во АН СССР, 1963а.
- Вистелиус А.Б. Проблемы математической геологии. Случайный процесс. – Геология и геофизика, 1963б, № 12.
- Вистелиус А.Б. Красноцветные отложения полуострова Челекен. М.–Л., „Наука“, 1966.
- Воронин Ю.А. и др. Геология и математика. М., „Наука“, 1967.
- Вярюнен Х. Кристаллический фундамент Финляндии. М., ИЛ, 1959.

- Галдобина Л.П. Опыт применения фациально-циклического анализа к изучению докембрийских осадочных толщ. - Литология и полезные ископаемые, 1966, № 3.
- Геология и глубинное строение восточной части Балтийского щита. Л., "Наука", 1968.
- Гипярова М.А. К стратиграфии и тектонике карельской формации Центральной Карелии. - Уч. зап. Пед. инст. им. Герцена, 1948, т. 72.
- Гипярова М.А. Новые данные по стратиграфии и тектонике геологических образований Карелии. - Изв. Карело-Финской научн.-исслед.базы АН СССР, 1949, № 2.
- Гихман И.И., Скороход А.В. Введение в теорию случайных процессов. М., "Наука", 1965.
- Копмогоров А.Н. О логарифмически-нормальном законе распределения размеров частиц при дроблении. - ДАН СССР, 1941, т. 31, № 2.
- Копмогоров А.Н. Решение одной задачи из теории вероятностей, связанной с вопросом о механизме спелеобразования. - ДАН СССР, 1949, т. 65, № 6.
- Кратц К.О. К расчленению и терминологии протерозоя Карелии. - Изв. Карельск. и Кольск. филиалов АН СССР, 1958, № 2.
- Кратц К.О. Геология карелид Карелии. М.-Л., Изд-во АН СССР, 1963.
- Кратц К.О., Шуркин К.А., Лобач-Жученко С.Б., Масленников В.А. Проблема провинциальной стратиграфической шкалы докембрия Карело-Кольского региона. - В кн.: Стратиграфия и изотопная геохронология докембрия восточной части Балтийского щита. Л., "Наука", 1971.
- Крашенинников Г.Ф. Фации, генетические типы и формации. - Изв. АН СССР, сер. геол., № 8, 1962.
- Лукашев К.И. Очерки по геохимии гипергенеза. Минск, Изд-во АН БССР, 1963.
- Нумерова В.Н., Кратц К.О. Краткий очерк геологического строения и основные черты металлогении восточной части Балтийского щита. - Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Запада СССР, № 1, Л., 1957.
- Перевозчикова В.А. Геология протерозоя Карелии. - Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Запада СССР, № 1; Л., 1957.
- Полынов Б.Б. Кора выветривания. Ч. 1. Процессы выветривания. Основные фазы и формы коры выветривания и их распределение. М., Изд-во АН СССР, 1934.
- Проблемы геологии среднего протерозоя Карелии. - Тр. Инст. геологии Карельского филиала АН СССР, 1972, вып. 16.

- Пугачев В.С. Теория случайных функций. Изд. М., Физматгиз, 1962.
- Ривлина Т.С. К стохастической модели слоеобразования (случай неограниченного межслоевого размыва). – В кн.: Вопросы математической геологии. Л., „Наука“, 1968.
- Романовский С.И. Зависимость меры стабильности слоенакопления от функции распределения вероятностей мощностей слоев. – Геология и геофизика, 1971, № 7.
- Романовский С.И. Состояние и перспективы изучения процессов слоенакопления. – Изв. АН СССР, 1972, сер. геол., № 2.
- Рухин Л.Б. Новый способ определения условий отложения древних песков. – Проблемы сов. геологии, 1937, VII, № 11.
- Рухин Л.Б. Основы литологии. Учение об осадочных породах. М.–Л., Гостоптехиздат, 1959.
- Саркисян А.А. Осаждение наносов в турбулентном потоке. – В кн.: Русловые процессы. М., Изд-во АН СССР, 1958.
- Светов А.П. Палеовулканология ятулия Центральной Карелии. Л., „Наука“, 1972.
- Серебрянников М.Г., Первозванский А.А. Выявление скрытых периодичностей. Изд. М., „Наука“, 1965.
- Сидоренко А.В. Проблемы осадочной геологии докембрия. – Сов. геология, 1963, № 4.
- Сидоренко А.В. От главного редактора. – В кн.: Проблемы осадочной геологии докембрия, вып. 1. М., „Недра“, 1966.
- Сидоренко А.В. Осадочная геология докембрия, состояние и задачи. – В кн.: Литология и осадочная геология докембрия. Тезисы докладов на X Всесоюзном литологическом совещании. М., 1973.
- Слуцкий Е.Е. Сложение случайных причин как источник циклических процессов. – Вопросы конъюнктуры, 1927, т. 3, вып. 1.
- Соколов В.А. К вопросу о происхождении протерозойских доломитов Прионежья. – Тр. Карельск. фил. АН СССР, 1955, вып. 2.
- Соколов В.А. К геологии верхнекарельских образований Северного Прионежья. – Тр. Карельск. фил. АН СССР, 1956, вып. 3.
- Соколов В.А. К геологии протерозойских (верхнекарельских) карбонатных пород южной части КАССР. – Тр. Карельск. фил. АН СССР, 1958, вып. 9.
- Соколов В.А. О циклическом строении терригенно-карбонатной толщи протерозоя Южной Карелии. – Тр. Карельск. фил. АН СССР, 1960, вып. 26.
- Соколов В.А. Геология и литология карбонатных пород среднего протерозоя Карелии. М.–Л., Изд-во АН СССР, 1963.

- Соколов В.А. Вопросы геологии ятулия Карелии. – В кн.: Вопросы геологии и закономерности размещения полезных ископаемых Карелии. Петрозаводск, 1966.
- Соколов В.А., Бутин Р.В. Новый водорослевый горизонт терригенно-карбонатной толщи ятулия в Прионежье. – ДАН СССР, 1961, т. 140, № 1.
- Соколов В.А., Галдобина Л.П., Рылеев А.В., Сацук Ю.И., Светов А.П., Хейсканен К.И. Геология и литология ятулия Центральной Карелии. Петрозаводск, 1970.
- Соколов В.А., Галдобина Л.П., Сацук Ю.И., Светов А.П., Рылеев А.В., Хейсканен К.И. Некоторые формы предьятулийского погребенного рельефа в Карелии. – ДАН СССР, 1966, т. 168, № 2.
- Соколов В.А., Галдобина Л.П., Светов А.П., Хейсканен К.И. О влиянии вулканизма на ятулийское осадконакопление. – В кн.: Проблемы осадочной геологии докембрия, вып. 3. М., „Наука“, 1971.
- Соколов В.А., Галдобина Л.П., Хейсканен К.И. Типы и особенности эволюции литогенеза в докембрии. – В кн.: Литология и осадочная геология докембрия, Тезисы докладов на X Всесоюзном литологическом совещании. М., 1973.
- Соколов В.А., Хейсканен К.И. Геолого-литологическая характеристика протерозойских (ятулийских) кор выветривания в Карелии. – В кн.: Проблемы осадочной геологии докембрия, вып. 1. М., „Недра“, 1966.
- Соподовников В.В. Статистическая динамика линейных систем автоматического регулирования. М., Физматгиз, 1960.
- Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. Т. I, II, III. М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Тимофеев В.М. Петрография Карелии, вып. 5. Л., Изд-во АН СССР, 1935.
- Харитонов Л.Я. Новые данные по стратиграфии и тектонике Карельской формации Онего-Сегозерского водораздела. – Тр. Лен. геол. треста, 1938, вып. 17.
- Харитонов Л.Я. Геология района дер. Чебино-г. Медвежьегорск – рудник Воронов Бор. – Изд. Карело-Финск. научн.-исслед. базы АН СССР, 1949, № 2.
- Харитонов Л.Я. Типы разрезов, стратиграфия и некоторые вопросы структуры и магматизма карелид. – Сов. геология, № 4, 1963.
- Харитонов Л.Я. Структура и стратиграфия карелид восточной части Балтийского щита. М., „Недра“, 1966.
- Харкевич А.А. Спектры и анализ. М., Гостехиздат, 1957.

- Хейсканен К.И. Некоторые черты динамики осадконакопления в средне- и верхнеятулийском бассейне Центральной Карелии. - Сов. геология, 1964, № 12.
- Хейсканен К.И. О моделировании динамических систем осадконакопления (на примере ятулия Карелии). - В кн.: Физические и химические процессы и фации. М., "Наука", 1968.
- Хейсканен К.И. Методика моделирования процессов осадконакопления на примере ятулия Центральной Карелии. - В кн.: Проблемы палеологии докембрия. Л., "Наука", 1971.
- Хеннан Э. Анализ временных рядов. М., "Наука", 1964.
- Чернов В.М., Инина К.А., Горьковец В.Я., Раевская М.Б. Вулканогенные железисто-кремнистые формации Карелии. Петрозаводск, "Карелия", 1970.
- Шварцахер В. (Schwarzacher W.). Вертикальные и площадные изменения каменноугольных известняков вблизи Слиго (Ирландия). - В кн.: Вопросы математической геологии. Л., "Наука", 1968.
- Шустова Л.Е. Глубинное строение Балтийского Щита по данным геофизических исследований. - Сов. геология, № 5, 1966.
- Anderson R.Y., Koopmans L.H. Harmonic analysis of varve time series. - Geophys. Res., 1963, v. 68, N 3.
- Bennett J.G. Brocken coal. - J. Inst. Fuel, 1936, v. 10.
- Carss B.W., Neidell N.S. A geological cyclicity detected by means of polarity. Coincidence correlation. - Nature, 1966, v. 212, N 5058.
- Davis D.H. Estimating porosity of sedimentary rocks from bulk density. - J. Geol., 1954, v. 62, N 1.
- Davis H.T. The analysis of economic time series. The Cowles commission for research in economics. Monograph N 6, Bloomington, Indiana, 1941.
- Fisher R.A. Test of significance in harmonic analysis. - Proc. Roy. Soc., 1929, A125.
- Fox W.T. Fortran and FAP program for calculating and plotting time-trend curves using an IBM 7090 or 7094/1401 computer system. Lawrence, 1964.
- Fox W.T., Brown J.A. The use of time-trend analysis for environmental interpretation of limestones. - J. Geol., 1965, v. 73, N 3.
- Jackson T.A. Power-spectrum analysis of two "varved" argillites in the Huronian Cobolt series (Precambrian) of Canada. - J. Sediment. Petrol., 1965, v. 35, N 4.

- Kuenen Ph.H. Turbidity currents a major factor in
flish deposition. - *Eclogae geologiae helvetiae*,
1959, v. 51, N 3.
- Hinze J.O. On the hydrodynamics of turbidity cur-
rents. - *Geol. mijnbouw*, 1960, bd. 22, N 1.
- Krumbein W.C., Kauffman M.E., McCammon R.B.
Models of geologic processes. An introduction
to mathematical geology. Washington, 1969.
- Heiskanen K.I. Diffusion model of sedimentation
from turbulent flow. - In book: *Mathematical mo-
dels of sedimentary processes*. Plenum Publ.
Corp., N. Y., 1972.
- Heiskanen K.I. Use of a harmonic model for analy-
sis the dynamic system of sedimentation in the
Jatulian of Central Karelia. - In book: *Topics
in mathematical geology*. Plenum Press, Consult.
Bur., N. Y., 1971.
- Merriam D.F., Sneath P.H.A. Comparison of cycle
rock sequences using cross-association. *Essays
in paleontology and stratigraphy*. - R.C. Moore
commemorative vol. Lawrence, 1967.
- Metzger A.A. Th. Die Jatulischen bildungen von
Suojarvi in Ostfinland. - *Bull. Comm. Geol. Finl.*,
1924, N 64.
- Pettijohn F.J. *Sedimentary rocks*, 2d ed. Herper
and Brothers, N. Y., 1957.
- Potter P.E., Blakely R.F. Generation of a synthe-
tic vertical profile of a fluvial sandstone body. -
Soc. Petrol. Eng. J., 1967, v. 7, N 9.
- Schwarzacher W. An application of statistical time
series analysis of a limestone-shale sequence. -
J. Geol., 1964, v. 72, N 2.
- Whitten E.H.T. Process-response models in geolo-
gy. - *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 1964, v. 75, N 5.
- Whittle P. *Hypothesis testing in time series analysis*.
Uppsala, 1951.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
ГЛАВА 1. Краткий геолого-литологический очерк ятулийских образований Центральной Карелии	5
Строение доятулийского фундамента и краткая история его развития	8
Базальные образования ятулия	14
Нижний ятулий	15
Средний ятулий	28
Верхний ятулий	34
Условия образования ятулийских отложений	36
ГЛАВА 2. Моделирование процессов осадконакопления	54
Выбор параметра осадка и требования к структуре процесса	56
Возможные типы процессов	61
Элементы оценки параметров моделей	69
ГЛАВА 3. Модели ятулийской седиментации	75
Нижний ятулий	76
Средний ятулий	87
Верхний ятулий	94
Распределение малых элементов в лавовом потоке диабазов	94
Заключение	96
Литература	98

Ким Иванович Хейсканен

ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ ЯТУЛИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ КАРЕЛИИ

Утверждено к печати

Институтом геологии Карельского филиала АН СССР

Редактор издательства Т.Н.Токарева. Художник Я.В.Таубвурцель. Технический редактор Н.И.Каплунова. Корректор Н.И.Журавлева

Сдано в производство и подписано к печати 3/III 1975 г. Формат бумаги 60 х 90 1/16. Бумага № 1. Печ.л. 6 1/2 = 6,5 усл. печ. л. Уч.-изд. л. 6.37. Изд. № 5904. Тип.зак. № 234 .М-31426. Тираж 450. Цена 64 коп.

Ленинградское отделение издательства „Наука“
199164, Ленинград, В-164, Менделеевская линия, д. 1

1-я тип. издательства „Наука“. 199034, Ленинград, 9 линия, д.12